

PROBLEMATIKA KOLEJOVÝCH VOZŮ S MALÝMI KOLY

Petr KAVÁN

Katedra dopravních prostředků

ÚVOD

Železnice se - ze své podstaty - nachází v kolegiální pozici vůči dopravě silniční. Po celé období její historie existuje do určité míry vzájemná technická nahraditelnost obou dopravních systémů a odtud vyplývá jejich konkurenční vztah. Z tohoto hlediska měla železnice v minulém století postavení dominantní, v první polovině tohoto století byla v situaci vzrůstajícího konkurenčního ohrožení a toto v současnosti kulminuje až ve snahy o likvidaci její značné části. Hlediska pro preferování toho či onoho dopravního systému byla doposud výrazně ekonomická.

Nelze přehlédnout skutečnost, že oba systémy po celé zmíněné historické období reálně dokladovaly možnosti vzájemné součinnosti. Tou je přeprava kolejových vozidel po silniční komunikaci (užívaná např. u některých železničních přepravců nevybavených vlastní vlečkou) a přeprava silničních vozidel po kolejích. Ta byla hojně aplikována od počátku prvních parostrojních železnic (užívání plošinových vozů pro přepravu kočárů, tehdy nazývaných Equipage-Wagen), v průběhu první poloviny tohoto století se omezila na speciální přepravy (např. osobní automobily státních činitelů převážené v salónních vlacích), příp. vývoj hybridních vozidel, dále pak vojenské přepravy, avšak od padesátých let zaznamenává renesanci provázenou rozvojem moderních konstrukcí specializovaných vozů jednak v patrovém provedení pro přepravu osobních automobilů, jednak se sníženou úrovní podlahy pro přepravu nákladních automobilů.

Tento partnerský, tj. neantagonistický vztah obou systémů rezonuje se snahami ekologů. Proto již na přelomu šedesátých a sedmdesátých let byla tranzitní doprava nákladních automobilů přes horské hřebeny Alp převedena na elektrizované železniční tratě s využitím tunelů v nižší nadmořské výšce. S odstupem času i další železniční správy zavedly restriktivní opatření k ochraně životního prostředí převedením nákladní silniční dopravy na

„cestu vytvořenou ze železničních nákladních vozů“, pro niž se ujal pojmenování Rollende Landstraße, ve zkratce Ro-La. České republiky se tato doprava dotkla ramenem České Budějovice - Villach uvedeným do provozu 24. 9. 1993, po dalším roce relací Lovosice - Drážďany.

Pro úplnost lze připomenout, že přepravu silničních nákladních vozidel lze obecně realizovat více způsoby. Jde o uložení na tzv. kapsové vozy, přeprava silničních nástaveb na speciálních plošinových vozech, soupravy sestavené z návěsů silničních vozidel s podsunutými železničními podvozky a další. Jejich častou výhodou je odpadnutí potřeby převozu tahače, ale v jejich neprospěch hovoří potřeba specializovaných překládacích mechanizačních zařízení. Neoperativnější přepravu představuje systém Ro-La, a proto nachází stále rozšiřující se uplatnění.

Vývoj vozů pro tohoto systému směřuje k dosažení extrémně nízké polohy jejich podlahy, z níž vyplývá tlak na zmenšování průměrů kol železničních dvojkolí. Tzv. „malá kola“ svou konstrukcí a provozem otevírají řadu problémů. Jejich přiblížení je věnován tento článek.

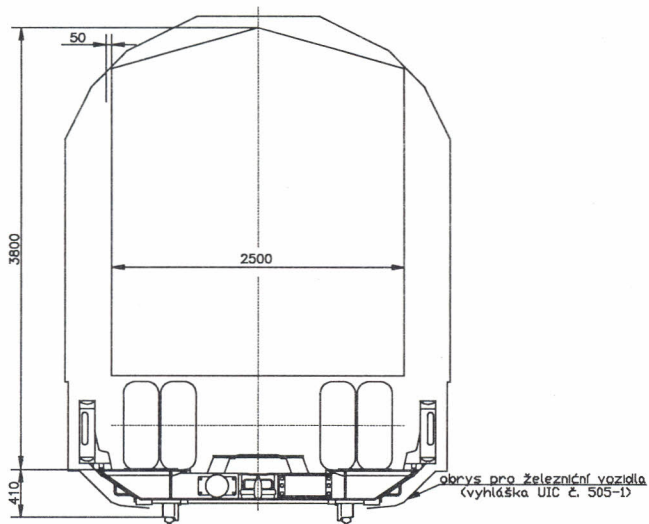
KONSTRUKČNÍ POŽADAVKY NA KOLEJOVÉ VOZY S MALÝMI KOLY

Kolejový vůz, a to i včetně nákladu, musí vyhovovat mezinárodně předepsanému obrysu pro železniční vozidla. Vepíše-li se do něho obrys silničního vozidla, rezultuje zbytkový prostor využitelný pro fyzické vytvoření železničního vozu. Názorně to vysvětluje **obr. 1**, nízkopodlažní vůz DB AG řady Saadkms⁶⁹⁰, který je užíván ve zmíněných relacích ČD. Připouští maximální výšku silničního vozidla 3800 mm při minimalizaci výšky podlahy nad temenem kolejnice na hodnotu 410 mm.

Na voze o vlastní hmotnosti 17 t se smí přepravovat ložné jednotky šířky 2,6 m, délky 18 m a celkové hmotnosti maximálně 40 t. Vozová skříň je proto představována nízkým plochým rámem v malé výšce nad kolejí, v němž jsou umístěny podvozky, jejichž dvojkolí mají kola malého průměru (v uvedeném případě 360 mm).

U kol menšího průměru se zmenšují jejich dotykové plošky s kolejnicí. Z takto zvýšeného kontaktního namáhání vyplývá požadavek na snížení svislých kolových sil. Maximální přípustné hmotnosti na nápravu v závislosti na průměru kol předepisuje vyhláška UIC č. 510 - 2 (**tab. 1**).

Její uplatnění zpravidla vede k užití podvozků se 4 nebo 5 dvojkolími s důmyslným systémem rozložení svislých zatížení včetně provahadlování. Požadavku bezpečnosti pohybu po koleji se vychází vstříc tím, že dvě krajní dvojkolí jsou v příčném směru vzájemně tuze vázány, aby se při průjezdu srdcovkou výhybky chovaly podobně jako jediné dvojkolí s koly normálního průměru. Vodicí kolo nabíhající při jízdě obloukem na vnější kolejnici je vystaveno nepříznivějšímu poměru než u dvounápravového podvozku; zatímco vodorovná vodicí síla (Y) odráží hmotnostní poměry připadající na podvozek jako celek, svislá kolová síla (Q) je podílem hmotnosti nesené podvozkem a počtu kol. Poměr Y/Q dokumentující míru bezpečnosti proti vykolejení proto u těchto podvozků nabývá závažnějších hodnot.



Obr. 1 Prostorová dispozice systému Ro-La

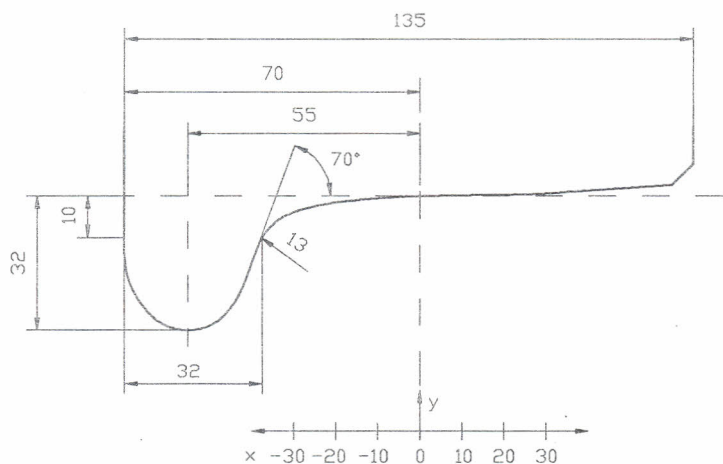
Rozsah průměrů kol (mm)	Příp. hmotnost na nápr. při rychlosti 120 km.h ⁻¹	
	Normální hodnoty	Mimořádné hodnoty*
1000 – 920	20	20
920 – 840	20	20
840 – 760	18	18
760 – 680	16	16
680 – 630	14	14
630 – 550	12	14
550 – 470	10	12
470 – 390	7.5	9.5
390 – 330	5	7.5

*Uplatňování těchto hodnot je podmíněné uzavřením dvou nebo vícestranných dohod mezi železničními správami

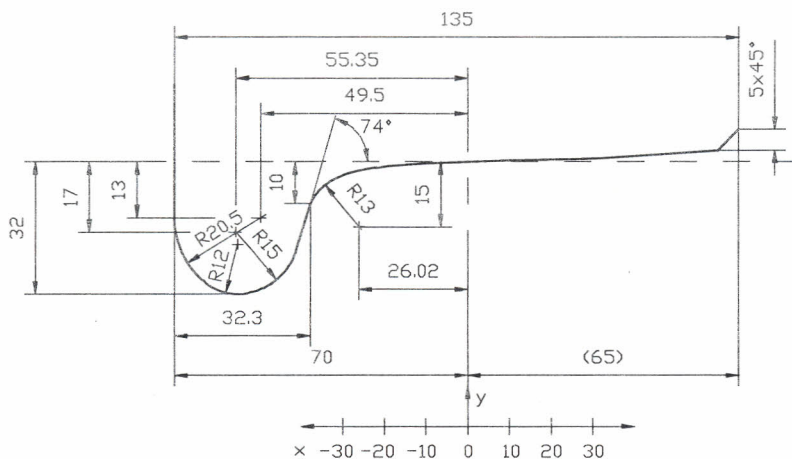
Tab. 1 Přípustná hmotnost na nápravu podle vyhlášky UIC č. 510 - 2

JÍZDNÍ PROFILY PRO MALÁ KOLA

Aplikace jízdního profilu UIC-ORE S 1002 na kola menšího průměru by vedla k výraznému zkrácení délky vlny vlnivého pohybu dvojkolí, neboť ve vztahu pro délku vlny vystupuje jako důležitý faktor poloměr styčné kružnice kola. Mezinárodní železniční unie v její vyhlášce č. 510 - 2 pro kola o průměru menším než 760 mm předpokládá užití upraveného jízdního profilu, který se však liší od jízdního profilu UIC - ORE S 1002 pouze v oblasti okoiku (*obr. 2*). V provozně využívaných oblastech kopíruje zmíněný profil pro dvojkolí standardního průměru (*tab. 2*) a neřeší tak problém zkrácené délky vlny vlnivého pohybu malých kol.



Obr. 2 Jízdní profil kol o průměru menším než 760 mm podle vyhlášky UIC č. 510 - 2



Obr. 3 Jízdní profil SBB 32 - 3

Tento důvod spolu s větším rozšířením vozů s malými koly, jejichž průměr klesl pod hranici 400 mm, si vyžádal teoretické i praktické ověřování, následované jistými tvarovými úpravami, při nichž některé železnice zohledňovaly i odlišný úklon kolejnic. Výsledkem tohoto procesu je široce užívaný jízdní profil typu SBB 32 - 3 (*obr. 3*), který, stejně jako zmíněné profily podle UIC, přísluší úklonu kolejnic 1:40. Je charakteristický strmějším okolkem, přičemž kuželovitosti na jízdní ploše v porovnání s předchozími profily dokládá již zmíněná *tab. 2*. Tento jízdní obrys má také vůz řady Saadkms⁶⁹⁰.

	-30	-20	-10	0	10	20	30
Jízdní profil UIC ORE S1002	-3.92	-1.60	-0.52	0	0.21	0.32	0.65
Jízdní profil UIC ORE „malá kola“	-3.92	-1.60	-0.52	0	0.21	0.32	0.65
Jízdní profil SBB 32 - 3	-3.29	-1.19	-0.37	0	0.34	0.49	0.81

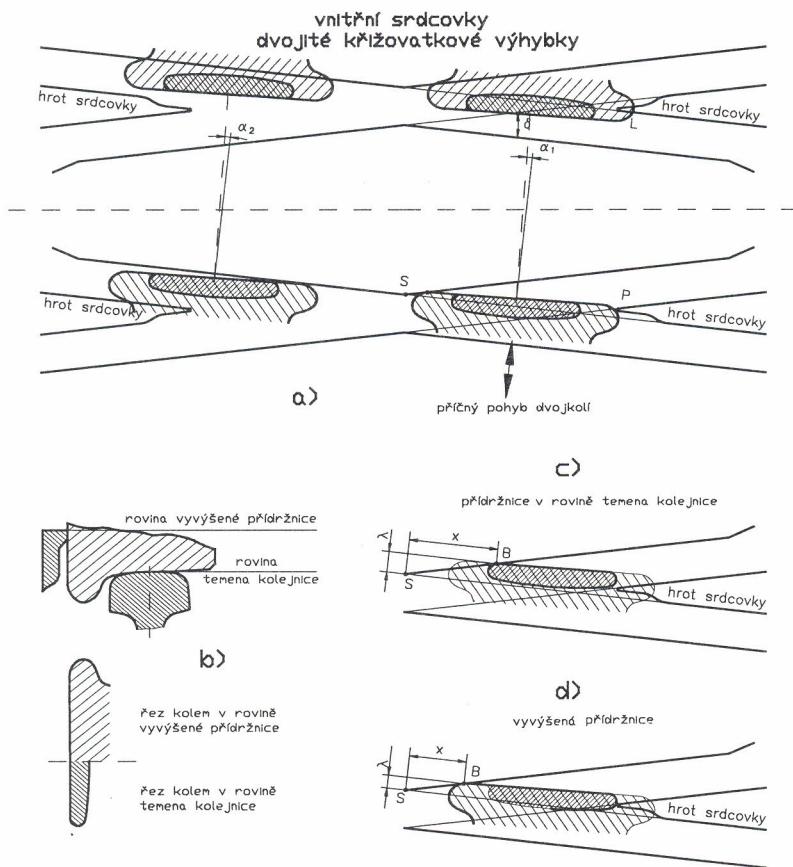
Tab. 2 Porovnání průběhu obrysu (y-souřadnice) jednotlivých profilů

MÍSTA ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU PROBLEMATICKÁ Z HLEDISKA PRŮJEZDU VOZŮ S MALÝMI KOLY

Patří k nim především přechodnice a oblouky malého poloměru, případně v kombinaci s vyššími sklony vzestupnic. V provozu vznikající vyšší hodnoty poměru Y/Q se kompenzují záměrně zvýšenou hodnotou $(Y/Q)_{lim}$, kde nástrojem k jejímu dosažení je zvýšený úhel strmosti okolku (u profilu SBB 32-3 74°).

Další významný problém představuje průjezd dvojitou křížovatkovou výhybkou, zejména jejími vnitřními srdcovkami (pokud nejsou srdcovky opatřeny pohyblivými hroty). Při průjezdu vozidel s malými koly zde dochází ke ztrátě vedení dvojkolí dotykem s částmi a to je dále vedeno pouze vazbou s ostatními dvojkolími podvozku prostřednictvím jeho rámu. Na tuhosti této vazby a úhlu náběhu jak podvozku, tak samotného dvojkolí pak závisí možné příčné posunutí tohoto dvojkolí a tedy snaha narazit na hrot srdcovky nebo přímo zajet do nesprávného žlábků. *Obr. 4a* naznačuje kritickou situaci, kdy podvozek pohybující se ve směru doprava se nachází předním dvojkolím v místě průniku žlábků, které není schopno zabránit dvojkolí v nežádoucím příčném posuvu. Na *obr. 4b* je odvozen vodorovný řez kola v rovině temena kolejnice a dále ve výši funkční hrany vyvýšené přídržnice. Obě plochy jsou odlišeny hustotou šrafování.

Pokud funkční hrana přídržnice nepřevyšuje rovinu temena kolejnice, u pravého kola předního dvojkolí nastává situace podle *obr. 4c*, který zachycuje řez kola v rovině temena kolejnice a jehož přední část dosahuje hrotu srdcovky. Bod B, kterým řez může klouzat po hraně přídržnice, se přitom příčně odchýlí na dráze x o hodnotu λ . Závisí pak na úhlu křížení srdcovky, zda tato situace umožní náraz okolku na hrot srdcovky nebo dokonce najetí okolku do nesprávného žlábků. Tato situace se eliminuje vzájemnou vazbou více dvojkolí v rámu podvozku.



Obr. 4 Situace malého kola při průjezdu přes dvojitou srdcovku

Příznivější situace nastává, je-li funkční hrana přídržnice vyvýšena (**obr. 4d**). Pak hrotu srdcovky přísluší hustě šrafovaný řez kola v rovině temena kolejnice, zatímco vyvýšené přídržnici řidčeji šrafovaný řez kola ve výši její funkční hrany. Je zřejmé, že nevedená dráha x je znatelně kratší a jí odpovídá také menší možnost příčného posunutí λ .

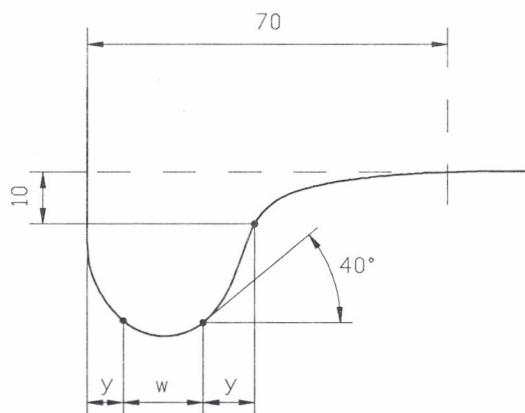
Z obrázků představujících podstatu problematiky je zřejmé, že nebezpečí chybné orientace dvojkolí a tím riziko najíždění na hrot srdcovky je tím větší, čím:

- vzdálenost mezi body S a P (**obr. 4a**) bude větší (resp. úhel křížení srdcovky δ bude menší)
- průměr kola d bude menší (zde může nepříznivě spolupůsobit též úhel náběhu dvojkolí α vyplývající jednak z možnosti natočení podvozku a jednak ne zcela tuhé vazby dvojkolí v rámu)

Pro daný případ kolejové křižovatkové výhybky a typ vozidla jsou tedy veličiny δ a d dány a ovlivňovat lze pouze parametry α a λ .

Nástrojem pro zvýšení bezpečnosti průjezdu je záměrné prodloužení plochy řezu vyznačené řidším šrafováním. Toho je možné dosáhnout zmíněným vyvýšením funkční hrany přídržnice, ale také zvýšením okolku. Výška okolku však nesmí činit více než 36 mm, a proto je s přihlédnutím k budoucímu opotřebení jízdní plochy stanovena ve jmenovitě tvaru u těchto jízdních profilů na 32 mm. Vyšší okolek z důvodu konstrukce železničního svršku použit nelze. Reálný tvar této plochy dotváří také vlastní tvar okolku, zejména sklon jeho vnitřní hrany.

Dojde-li k nárazu kola na hrot srdcovky, je z pohledu bezpečnosti proti vykolejení nutné, aby atakovaná plocha okolku zajistila jeho zapadnutí do správného žlábků. Z tohoto hlediska (podle **obr. 5**) na okolku odlišujeme části využitelné ke kontaktu (y) a oblast (w), která z důvodu nebezpečí vyjetí kola na hrot srdcovky nesmí být ke kontaktu využita.



w - oblast, ve které nesmí dojít ke kontaktu s hrotem srdcovky

Obr. 5 Oblast nebezpečného kontaktu okolku s hrotem srdcovky

Jako shrnutí lze uvést, že konstrukce výhybek nabízí kolu možnost příčného posunutí až do hodnoty λ , avšak kolo, má-li bezpečně projet, z ní prakticky může využít nejvýše jisté příčné posunutí y_{lim} , při kterém následuje navedení do správného žlábků. Reálné chování, tj. praktické využívání hodnoty λ , je předmětem výzkumu. Jako teoretické možnosti řešení se nabízí v podstatě 3 způsoby. Grafická metoda, založená na porovnání horizontálních řezů přes okolek s profilem výhybky a analytická metoda, která se zakládá na studiu kontaktní geometrie mezi okolkem dvojkolí a prvky výhybky. Obě tyto metody jsou specifikovány a blíže popsány ve zprávě ORE výboru RP7 č. C9. V současné se přednostně uplatňuje metoda počítačové simulace průjezdu vozidel s malými koly přes dvojitou křížovatkovou výhybku. Pro svou složitost však ještě výzkum není ukončen.

V rámci praktického výzkumu bezpečnosti proti vykolejení vozidel s malými koly prováděny v zahraničí (Minden) zkoušky na zkušební stavu. Předmětem těchto zkoušek byla dvojitá křížovatková výhybka DB ($\delta = 6^\circ 20'$) resp. SNCF ($\delta = 6^\circ 16'$) a dvojkolí o průměru 688 mm (DB) resp. 642 mm (SNCF).

Ze zkoušek vyplynuly následující závěry. Jestliže dvojkolí nebylo vystaveno účinku příčných sil, zachovávalo přesně směr valení daný úhlem náběhu α . V případě existence příčných sil přibývá k příčnému posunutí, vyplývajícímu z výše uvedeného úhlu náběhu α ,

doplňkové příčné posunutí zapříčiněné skluzem. Při maximálním příčném namáhání $H_y = 0.25 \times 2Q_0$ (pro tento případ 10 kN) na mokré koleji dosahuje relativní skluz až 2 %. Při dosažení příčné síly $H_y = 15$ kN nastává u dvojkolí při vstupu do oblasti bez vedení prudký smyk. K výraznému zvýšení nebezpečí vykolejení dochází v případě poklesu úhlu dotykové roviny okolku s hrotem srdcovky vůči vodorovné rovině pod hranici 40° (**Obr. 5**). I bez příčného silového obtížení dojde k vykolejení v případě, že úhel náběhu překročí hranici 2° až $2^\circ 30'$.

Kromě zkoušek provedených na vykolejovacím zkušebním stavu byly provedeny také traťové zkoušky, a to s těmito výsledky:

Hodnota samotného úhlu náběhu nepřekročila $0,5^\circ$ a maximum poměru $H_y/2Q_0$ se pohybovalo v rozmezí 0,23 - 0,30 na jednotlivých dvojkolích.

Na základě výše uvedených skutečností byla pro zvýšení bezpečnosti proti vykolejení stanovena následující opatření:

- minimální úhel δ dvojitě křížovatkové výhybky přestavitelných hrotů srdcovek byl stanoven na $6^\circ 16'$,
- zúžení hrotu srdcovky křížovatkové výhybky o 3 mm po délce aspoň 150 mm (**viz. obr. 4**),
- snížení skutečného hrotu srdcovky o 8 mm pod rovinu temena kolejnice s postupným náběhem v délce 200 mm,
- minimální tloušťka okolku 27,5 mm pro dvojkolí o průměru menším než 840 mm,
- zajistit, aby $H_y \leq 0.25 \times 2Q_0$ pro průměr kol menší než 760 mm,
- a následně na základě následujících hodnot:
 - vzdálenost mezi vnitřními stěnami kol (rozkolí) 1363 mm,
 - výška okolku 32 mm,
 - úhel tečny v bodě dotyku mezi okolkem a hrotem srdcovky 40° ,

byly vypočteny přípustné hodnoty úhlů náběhu dvojkolí pro jednotlivé průměry kol a druhy dvojitých křížovatkových výhybek. Jelikož se však jedná o křížovatkové výhybky DB a SNCF pojížděné dvojkolímí o větším průměru, nejsou zde tyto hodnoty uvedeny. V některých případech byly podle těchto výsledků přepočtem stanovena kritéria i pro vozy s dvojkolímí malého průměru (průměr 330 až 630 mm). V poměrech ČD se však jeví jako nezbytné ověřit zjištěné skutečnosti pro konkrétní vůz řady Saadkms⁶⁹⁰ při jízdě přes dvojitou křížovatkovou výhybku CS 49 1:9 - 190, která se svými parametry blíží výše uvedeným výhybkám SNCF a DB a je poměrně rozšířená na kolejích ČD. Zároveň bude důležité ověřit vliv zařazení vozu do soupravy, při kterém dojde k výrazné změně podmínek průjezdu vozidla přes křížovatkovou výhybku. Poslední připomínka pramení ze zkušeností se simulacemi vozidel jiných konstrukcí, a to je případ dalších změn chování vozidla, které vyvolá sunutí takové soupravy nízkopodlažních vozů přes dvojitou křížovatkovou výhybku, eventuelně sunutí soupravy těchto vozidel všeobecně.

ZÁVĚR

Závěrem je tedy možné konstatovat, že v oblasti problematiky konstrukce a jízdy vozidel s malými koly zůstává nedořešena ještě řada otázek, které vzhledem k předpokládanému rozšíření tohoto typu dopravy a zachování vysoké míry bezpečnosti jejich provozu bude nutné objasnit a upřesnit. Výsledky simulačních výpočtů bude však třeba prakticky ověřit, a to není v současné ekonomické situaci vysokých škol možné bez zájmu a spolupráce ČD.

Literatura

- [1] Vyhláška UIC č. 510 - 2: Podmínky vztahující se na používání kol různých průměrů v pojižděných zařízeních různých druhů, UIC 1978.
- [2] RIEßBERGER, K.: Zur Entgleisungssicherheit der Rollenden Landstraße, ZEV + DET Glas. Ann. 2/3 1994, str. 70 – 82.
- [3] PELZ, F.: Der SGP - Niederflurwagen, das Schienenfahrzeug mit den kleinsten Rädern, Glas. Ann. 1970, str. 95 - 103, 116.
- [4] AHLBORN, G.: Entwicklungstendenzen im Güterwagen - Bereich, ETR 11/1989, str. 707 – 713.
- [5] TALBOT : Huckepack - Niederflurwagen 8 achsig, Bauart: Saadkms 690, 1986.
- [6] DB AG : Einsatzbedingungen und Besonderheiten der Niederflurwagen Saadkms 690, Deutsche Bahn, 1994.

Resumé

PROBLEMATIKA KOLEJOVÝCH VOZŮ S MALÝMI KOLY

Petr KAVÁN

Cílem tohoto příspěvku je seznámit s problematikou provozu vozidel s malými koly, jež přichází do provozu u ČD teprve v posledních letech, s jejich původem a historií. Zhruba před třiceti lety si vyspělé země uvědomily, že stoupající silniční nákladní doprava představuje časovanou bombu pro přírodu a rozhodly se tento problém řešit za pomoci železnice. Byla to dobrá myšlenka, ale z důvodu rozměrů silničních vozidel v porovnání se statickým průjezdným průřezem pro kolejová vozidla nebylo možné použít vagóny s dvojkolými standardního průměru. A tak spatřily světlo světa první vozidla s malými koly. Jejich provoz však s sebou přinesl řadu problémů, obzvláště v oblasti kontaktu kola s kolejnicí. Jako nejproblematičtější část kolejového svršku se ukázaly vnitřní srdcovky dvojitých křížovatkových výhybek, kde došlo již k řadě vykolejení. Také samotný jízdní obrys dvojkolí i vliv tlačné síly při sunutí soupravy vozů s malými koly na bezpečnost proti vykolejení patří mezi problémy spojené s provozem těchto vozidel.

Summary

PROBLEMS OF THE SMALL - WHEELED WAGONS

Petr KAVÁN

The aim of this paper is the evaluation of the basic problems, which the low-level wagons operation pose. In terms of introduction we have to mention something about the origin and history of low level vehicles for transport of the trucks cross the mountains. About 30 years ago the advanced countries had understood the growing carriage of freight represents the time bomb for the nature and they decided to solve this problem with the help of railway. It was a good idea, but for reasons of truck dimensions and static vehicle gauge there was impossible to use the wagons with the wheels of standard diameter. Therefore the first small - wheeled wagons came into the world. Along with the contribution for healthy nature the operation of the ones posed some problems,

especially in the part of interaction between wheel and track. As the most problematic part of permanent way presents the inside crossing of the double overcrossing. Also the other wheel profile and wheel / rail contact conditions and the pushed power influence on derailment security etc. belong to another problems connected with the operation of the small - wheeled trains.

Zusammenfassung

PROBLEMATIK DES SCHIENENFAHRZEUGES MIT DEN KLEINEN RÄDERN

Petr KAVÁN

Das Ziel dieses Beitrages ist mit der Problematik des Fahrzeugbetriebes mit den kleinen Rädern, die erst in den letzten Jahren in Betrieb bei ČD kommen, mit ihrem Ursprung und ihrer Geschichte bekannt zu machen. Etwa vor dreißig Jahren wurden sich die höchstentwickelten Länder bewußt, daß der Straßengüterverkehr eine Zeitbombe für die Natur vorstellt. Deshalb haben sich diese Länder entschlossen, das Problem mit einer Hilfe der Eisenbahn zu lösen. Das war zwar eine gute Idee, aber es wurde aus dem Grund der Straßenfahrzeugabmessungen im Vergleich mit der statischen Begrenzungslinie für Schienenfahrzeuge nicht möglich die Wagen mit den Standardradsätzen anzuwenden. Und so die erste Fahrzeuge mit den kleinen Rädern erblickten die Tageslicht. Jedoch ihrer Betrieb brachte mit sich viele Probleme, insbesondere im Gebiet des Rad - Schiene Berührungsgeometrie. Als der problematischsten Teil des Eisenbahnoberbaus haben sich die innere Herzstücke der doppelten Kreuzungsweichen gezeigt. Zu den Problemen, die mit dem Betrieb dieser Fahrzeuge zusammenhängen, weiter gehören: Anwendung eines speziellen Radprofils, Einfluß der Längskraft auf die Entgleisungssicherheit bei dem Schubbetrieb von Zügen mit den kleinen Rädern.