

## ZÁKLADY POHYBU PO KOLEJI

Zdeněk MARUNA

České dráhy, DOP, Technická ústředna provozu, Praha

### 1. Úvod

Při sledování historického vývoje železniční techniky nelze přehlédnout tu podivuhodnou skutečnost, že všechny základní koncepce spoluvytvářející železnici jako systém byly konstituovány již v hloubce první poloviny devatenáctého století. Několik lidských generací je pak rozvíjelo bez nutnosti opouštět jejich podstatu.

Patří sem koncepce **parní lokomotivy**, charakterizovaná žárotrubným kotlem, využitím výfukové páry k vyvozování tahu v topeništi, vratným rozvodem parního stroje a roznesením tažné síly na více vzájemně spřažených dvojkolí, i koncepce **kolejového vozu**, charakterizovaná robustním rámem dimenzovaným nejen na síly svislé (nesení vozové skříně), ale zejména podélně působící, umístění svislého vypružení mezi dvojkolí a tento rám (to je podstatná odlišnost oproti tehdejšími vozům silničním) a pak vymezení jednotlivých specifických konstrukčních skupin (dvojkolí, nápravové ložisko, táhlové ústrojí, nárazníky, brzdy atd.). Tehdy i **kolej** dostala podobu podélných železných **kolejnic** upevněných na příčných dřevěných **pražcích** uložených ve šterkovém **loži**.

Spolehlivá technická intuice prvních velkých duchů železnice tehdy určila i nevhodnější způsob uložení kolejových vozidel na kolej. Kola, u silničních vozidel volná, vzájemně neotočně spojila nápravou do tuhého celku, nazývaného **dvojkolí**.

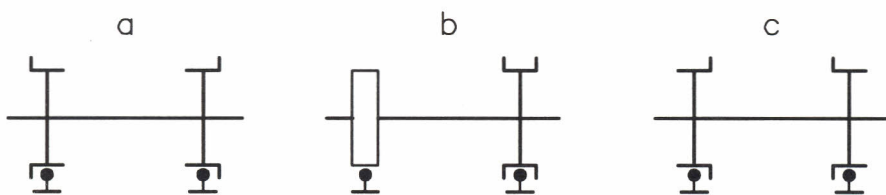
Kolejové vozidlo je pak uloženo na dvě nebo více dvojkolí, čímž svoji tíhovou sílu roznáší na větší délku koleje při současném omezování sil působících na každé jednotlivé dvojkolí.

Kolej ve své nejzákladnější podstatě uskutečňuje **nesení a vedení** vozidla, s čímž souvisí přenos sil mezi vozidlem a kolejí ve směru **svislém a příčném**. Funkce nesení byla svěřena dvěma poměrně úzkým jízdním plochám kolejnic a s nimi se stýkajícím jízdním plochám kol, kde styk hladkých a tvrdých kovových povrchů současně minimalizuje odpor valení. Aktivní funkce byla uložena kolu, které za tím účelem vedle **jízdní plochy** bylo opatřeno **okolkem** (to se projevilo příznivější než např. pouze válcové kolo pohybující se po kolejnici s vystupující vodící lištou, a to jak pro nižší pořizovací náklady, tak i pro snazší opravitelnost ojetých kol).

Z možností, které nabízí konkrétní umístění okolků na kolech (obr. 1), tj.

- a) okolky vnější,
- b) na jednom kole okolky oboustranně, na druhém válcová jízdní plocha,
- c) okolky vnitřní,

se již budovateli první naší koněspřežné železnice nejlépe využitelnou ukázala ta poslední. Z pohledu současnosti u **dvojkolí s vnitřními okolky** nejvíce ceníme tu vlastnost, že působí-li na vozidlo příčná síla, zejména při průjezdu obloukem, pak vyvozeným klopným momentem je to kolo, které se opírá okolkem o kolejnici, přitěžováno. Z hlediska **bezpečnosti proti vykolejení** jde tedy o automatizované působení „pudu sebezáchovy“. Nelze však přehlédnout ani příznivou možnost tvarovat jízdní plochu směrem od okolku k vnější ploše kola s postupně se zmenšujícím průměrem (v počátcích s určitou kuželovitostí). Ta dala vznik celému technickému oboru studujícímu a příznivě ovlivňujícímu **chod vozidel** po koleji, jehož jednou ze základních součástí je studium **kontaktní geometrie dvojkolí a koleje**.



**Obr. 1** Varianty umístění okolků

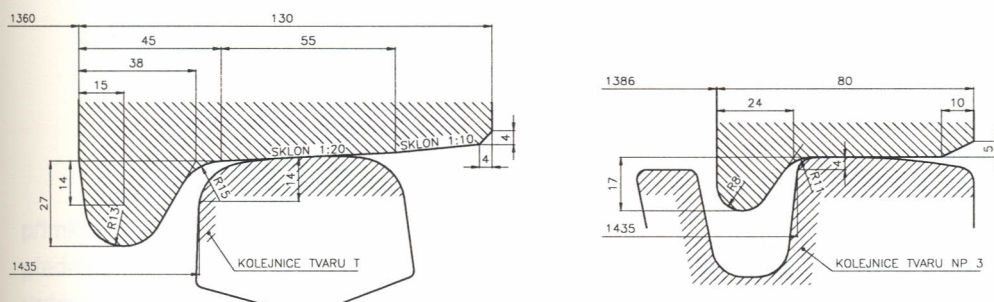
Tento, jakož i navazující článek, jejichž cílem je prvotní uvedení do problematiky, se z didaktických důvodů soustřeďují pouze na jízdu po přímé koleji.

## 2. Kolo na kolejnici

Kolo s kolejnici tvoří vzájemně spolupracující kinematickou dvojici, navzájem zesouladěný systém. Jeho základem je geometrie té části **jízdního profilu kola**, která realizuje nesení vozidla, tedy **jízdní plochy**. Od samotného vzniku železnic až téměř po současnost byla odlišována a prakticky užívána kola s jízdní plochou **kuželovou** a kola s jízdní plochou **válcovou** (obr. 2). V obou případech je tedy průřez jízdní plochou kola **přímkový**. Naproti tomu jízdní plocha kolejnice je mírně vypuklá, tvoří válcovou plochu o poloměru zpravidla 300 mm. K dotyku tedy dochází teoreticky v jediném bodě.

Kuželové jízdní profily, u železnice jediné užívané, nacházíme již na prvních vozidlech českobudějovické koněspřežky (výzkumy vodicích vlastností prováděl J. Božek), záhy byly dovedeny do značné dokonalosti tvarové (obr. 3) a ve vazbě na reálné provozní rychlosti se ustálily na sklonu 1:20. Takové byly u ČSD užívány do počátku sedmdesátých let, kdy byly nahrazeny dokonalejším profilem křivkovým; u pražského metra je kuželový jízdní profil užíván doposud.

Jeho typickým znakem je totožnost sklonu jízdního profilu kola a **úklonu osy kolejnice**. Jelikož jízdní plocha kolejnice je tvarově souměrná okolo osy kolejnice, je nezbytné kolejnici upevňovat v témže úklonu 1:20, na jaký jsou upravena kola vozidel. Kolejnice v úklonu 1:20 se v současnosti nacházejí na převážné většině sítě Českých drah.



**Obr. 2** Železniční a tramvajové kolo na kolejnici (kuželový jízdní profil podle ČSN 28 0335, válcový jízdní profil dvounápravových tramvají v Praze, 50. léta)

Válcové jízdní profily byly pro svoji jednoduchost dlouho užívány u tramvajové dopravy, u nás prakticky až do zavedení jednotných tramvají typu T. V situaci nižších rychlostí a nižších hmotností na nápravu nebyly jejich nepříznivé vlastnosti tak zřejmé. Válcové jízdní ploše kola odpovídá kolejnice ve svislé poloze.

Obr. 2 současně naznačuje základní rozdíly mezi systémem železničním (vlevo) a tramvajovým (vpravo). Železniční kolo má širší okolek, jehož dimenzování

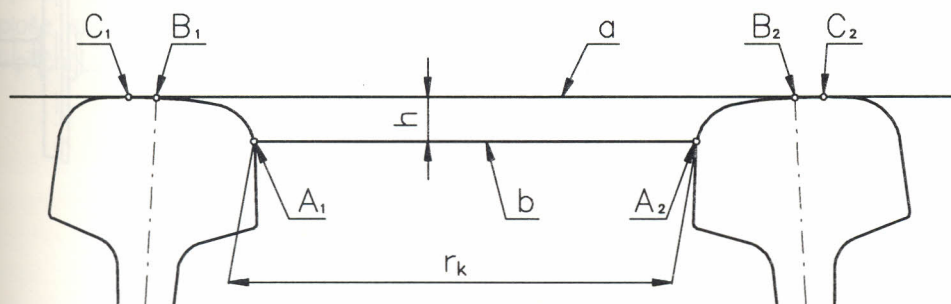




Bez ohledu na sklon jízdní plochy kola se konstrukčně sleduje navození styku kola a kolejnice poblíž středu šířky kola. Odtud v tělese kola vychází jeho kotouč a v tělese kolejnice její stojina.

### 3. Rozchodový kanál

Vzájemná poloha levého a pravého kolejnicového pásu, přesněji jejich souběžnost, se charakterizuje veličinou zvanou **rozchod koleje**, v běžném projevu pak často pouze rozchod. V rovině kolmé k podélnému směru koleje se vede tečna k oběma jízdním plochám kolejnic (obr. 4, přímka **a**). O určenou míru **h** níže (tedy v hloubce **h**) se vede rovnoběžka s ní (přímka **b**), která průsečíky s hmotou hlav kolejnic (body  $A_1, A_2$ ) určuje jejich světlou rozteč. Za povšimnutí stojí, že při uložení kolejnic do úklonu body  $B_1, B_2$ , tvořící temena kolejnic, nejsou totožné s body  $C_1, C_2$  v nichž se obrysů hlav kolejnice dotýká jejich společná tečna, přímka **a**, tvořící temeno koleje.



**Obr. 4** K měření rozchodu koleje

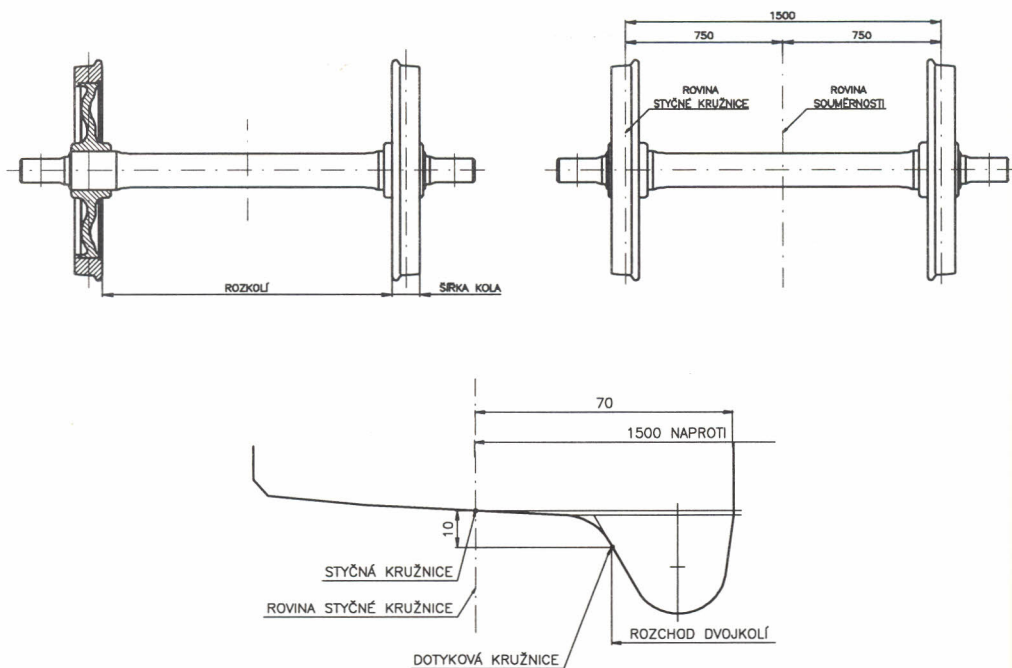
Míra **h** je pravidelně určena vyšší autoritou (např. státní normou) tak, aby přímka **b** nesměřovala do zaoblené části hlavy kolejnice. U širokopatných kolejnic je předepsána velikostí  $h = 14$  mm. Rozchod koleje se pak definuje jako světlá vzdálenost hlav kolejnic měřená v hloubce 14 mm pod temenem koleje. Pro normálněrozchodnou trať je na přímé koleji určen jmenovitou hodnotou 1435 mm.

Skutečná hodnota rozchodu koleje v každém konkrétním místě se od jmenovité odlišuje, a to z důvodů

- ♦ nepřesné prvotní montáže (náhodné seskupení tolerancí v montážním řetězci, které rezultují např. z nepřesnosti uložení podkladnice na pražec, kolmosti stojiny kolejnice na její patku aj.),
- ♦ statických změn rozchodu (vznikajících např. tzv. šplháním kolejnic v příčném směru v rozsahu vůlí montážních elementů),

- ♦ dynamických změn rozchodu (vznikajících při poježdění vozidel pružením pražců a kolejnic, příp. záměrným pružením upevňovacích prvků),
- ♦ ojetím (opotřebením) hlav kolejnic provozem.

Mezní dovolené provozní hodnoty rozchodu koleje jsou určovány provozními předpisy. Jejich hodnoty vycházejí nejen z limitního požadavku udržení dvojkolí na koleji, ale zejména sledují vytvoření optimálních podmínek pro dynamiku jeho pohybu; proto bývají zpřísněny pro vyšší provozní rychlosti. Např. pro rychlosti nad 100 km/h současná norma OPT 73 6360 určuje tolerance rozchodu při obnově koleje +2, -2 mm, v průběhu provozu +5, -3 mm a hodnota, která nesmí být překročena je rozchod 1455 mm.

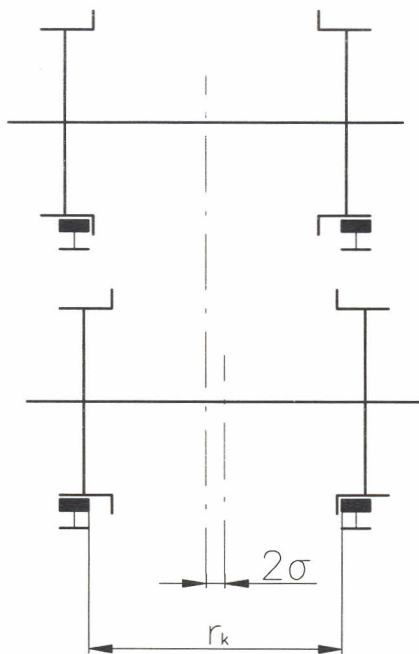


**Obr. 5** K měření rozchodu dvojkolí

Obdobně je precizováno měření veličin odpovídajících povrchů dvojkolí. Nejsnáze se měří světlá vzdálenost mezi koly, nazývaná **rozkolí** (obr. 5, vlevo). Vztahuje se k vnitřním plochám věnců kol, které jsou rovnoběžné a v provozu se prakticky neopotřebávají. Má jmenovitou hodnotu 1360 mm a je poměrně úzce tolerovaná. Význam této hodnoty není jen provozní (má vazbu na polohu přídržnic ve výhybkách a kolejových křižovatkách, jejím prostřednictvím se zjišťuje příp. ohnutí nápravy po nehodě), nýbrž je i východiskem pro měření **rozchodu dvojkolí**.

Rozkolím se vede rovina souměrnosti dvojkolí (obr. 5, vpravo) a ve vzdálenostech po 750 mm od ní se vedou rovnoběžné roviny, zvané **roviny styčných kružnic**; ty na jízdnicích plochách kol vytnou **styčné kružnice** (jde o definované pojmy, užívané např. při standardních pevnostních výpočtech dvojkolí, nikoli o skutečné spojnice provozních míst styků kol a kolejnic). Na styčných kružnicích se měří **průměry kol** (a hodnotí se jednak příp. rozdíl obou průměrů, jednak příp. ovalita kol; oboje je přísně tolerováno) a oběma kružnicemi se vede myšlená válcová plocha. K ní souose se vede další válcová plocha, jejíž poloměr je o 10 mm větší. Ta na ploše okolku vytne **dotykovou kružnici** (obr. 5, dole). Vzájemná vzdálenost dotykových kružnic obou kol se nazývá rozchod dvojkolí.

Rozchod dvojkolí se v provozu musí udržovat (u kuželových jízdnicích ploch) v rozmezí 1426 až 1410 mm. Jmenovitá hodnota se nachází poblíž horní meze, s opotřebením okolků se rozchod dvojkolí zmenšuje. Jestliže však nastává významnější opotřebení do jízdnicí plochy, pak výška okolků (vztahující se k válcové ploše styčných kružnic) se zvětšuje a obdobně se zdánlivě rozšiřuje okolek v příčném směru, což má za následek i zvětšení rozchodu dvojkolí.



**Obr. 6** Vymezení rozchodového kanálu



Předpokládejme nyní, že (podle obr. 6) se dvojkolí přisune okolkem na dotyk levé kolejnici a následně do souměrné mezní polohy vpravo. Osa souměrnosti dvojkolí se přitom příčně přemísťuje v rozsahu míry  $2\sigma$ , která v prostoru mezi kolejnicemi představuje šířku a současně polohu kanálu, jímž se za jízdy může pohybovat střed dvojkolí. Tomuto geometrickému útvaru se zpravidla říká **rozchodový kanál**, jindy též volný kanál koleje.

Jedním z jeho rozhodujících parametrů je šířka  $2\sigma$ . Pro jmenovité poměry při kuželovém obrysu je

$$2\sigma = 1435 - 1426 + 2 = 11 \text{ mm} ,$$

kde hodnota 2 mm vyplývá z rozdílu úrovní v nichž se měří rozchody koleje a dvojkolí a šikmostí ploch přicházejících do dotyku. Z výše uvedených číselných údajů vyplývá, že šířka rozchodového kanálu může nabývat hodnot od 9 do 47 mm, na tratích s nižšími rychlostmi je toto rozmezí ještě širší.

### 3. Pohyb volného dvojkolí

Rozchodový kanál představuje cestu pro dvojkolí při jeho valení. Jeho ohraničení lze přirovnat ke svodidlům silniční vozovky. Je žádoucí, aby dvojkolí běželo uvnitř tohoto kanálu, aniž by docházelo k vyčerpávání mezí.

Tuto vlastnost nemá dvojkolí s válcovými koly. To se uvnitř rozchodového kanálu valí po přímé dráze, takže dříve či později narazí okolkem na některou kolejnici. Záleží pak na okamžitých mechanických poměrech (nerovnosti koleje, způsob vedení dvojkolí vozidlem), jak se dvojkolí následně natočí a kde dojde k dalšímu dotyku okolku s hlavou kolejnice. Takovýto pohyb není žádoucí ani z chodového hlediska (buzení vozidla nahodilými nárazy), ani ekonomicky (zvýšené opotřebovávání okolků).

Dvojkolí s kuželovými koly naproti tomu vykazuje pozoruhodnou vlastnost, která se dá názorně napodobit fyzikálním pokusem, valením tzv. dvojkužele na pravítkách. Jak ukazuje obr. 7 nahoře, dvojkužel nacházející se v osové poloze se při valení stýká s hranami pravítek v bodech vytvářejících shodné kružnice (naznačeny tečkovanými čarami), valí se tedy po přímé dráze. Jestliže však je příčně vychýlen, kružnice dotykových bodů mají různé průměry a dvojkužel se valí po obloukové dráze. Ta se vytváří v takovém smyslu, že se snaží dvojkužel vrátit ke střední poloze. V půdorysu pak valení sleduje vlnovku (obr. 7 dole).

Tento typ pohybu lze snadno postihnout nástroji vyšší matematiky. Předpokládejme (podle obr. 8), že dvojkolí má

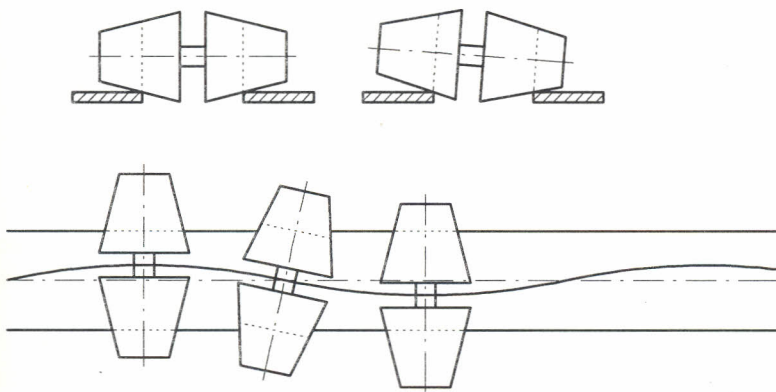
$2s$  - vzdálenost styčných kružnic

$r$  - poloměr styčných kružnic kol

$\gamma$  - úhel kuželovitosti jízdní plochy

$tg \gamma$  - kuželovitost obrysu.

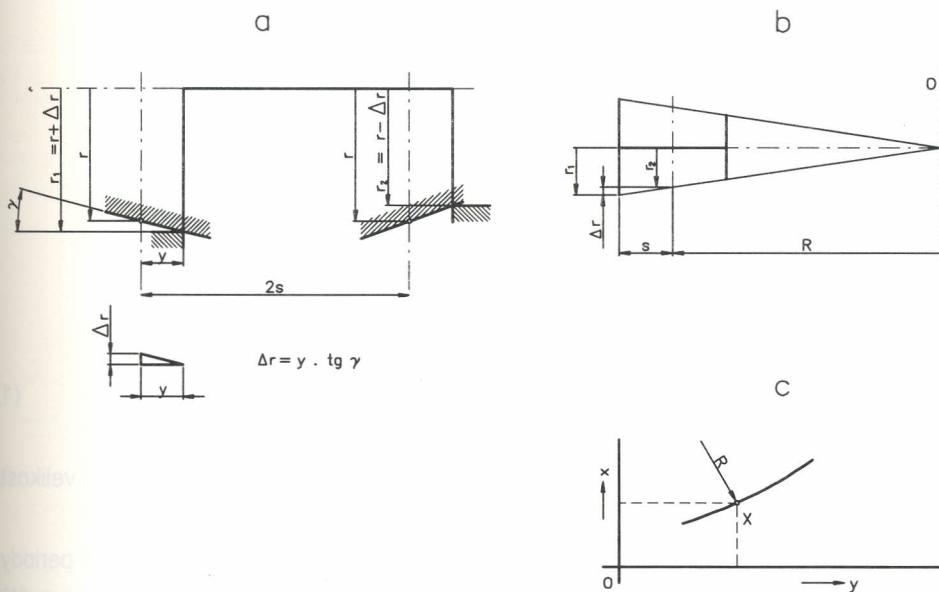




**Obr. 7** Valení dvojkouzele na pravítkách

Toto dvojkolí je příčně přemístěno o míru  $y$  tak, že se s hranami pravítek nestýká v bodech označených kroužky (na shodných poloměrech  $r$ ), nýbrž v místech zakreslených hran. Poloměry valení  $r_1$  a  $r_2$  jsou tedy od střední hodnoty  $r$  rozdílné o plus - minus  $\Delta r$ , které je rovno

$$\Delta r = y \cdot \operatorname{tg} \gamma .$$



**Obr. 8** K odvození vlnivého pohybu dvojkolí s kuželovým jízdním profilem

Výsledné valení se pak děje okolo okamžitého bodu  $O$  (obr. 8b) a z podobnosti trojúhelníků vyplývá úměra

$$\frac{r}{R} = \frac{\Delta r}{s},$$

$$\frac{1}{R} = \frac{\Delta r}{r \cdot s} = \frac{y \cdot \operatorname{tg} \gamma}{r \cdot s}.$$

Z analytické geometrie v rovině (obr. 8c) je pro obecný bod křivky o souřadnicích  $x, y$ , v němž existují derivace  $y'$  a  $y''$ , znám vztah určující křivost

$$\rho = \frac{y''}{(1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Je-li předem známo, že křivka je výrazně plochá, lze učinit nevýznamné zanedbání  $y'^2 \doteq 0$  a tedy jmenovatel zlomku položit rovný 1. Pak lze dosadit

$$y'' = \rho = -\frac{1}{R} = -\frac{y \cdot \operatorname{tg} \gamma}{r \cdot s},$$

což vede k diferenciální rovnici

$$y'' + \frac{\operatorname{tg} \gamma}{r \cdot s} \cdot y = 0.$$

Řešení se předpokládá ve tvaru

$$y = A \cdot \sin Bx,$$

kde vychází

$$B^2 = \frac{\operatorname{tg} \gamma}{r \cdot s},$$

$$A = y_0 \text{ (šířka vlny)}.$$

Trajektorie valení je pak dána vztahem

$$y = y_0 \cdot \sin \left( \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \gamma}{r \cdot s}} \cdot x \right). \quad (1)$$

Je zřejmé, že jde o sinusoidu, tedy periodickou křivku se stálou velikostí příčného rozkmitu (šířky vlny) a stálou délkou vlny.

Délku vlny  $L$  lze určit na základě předpokladu, že při opsání jedné periody, tedy změně souřadnice  $x$  o hodnotu  $L$  se velikost argumentu funkce  $\sin$  zvětší o  $2\pi$  (periodicita funkce  $\sin$ ):

$$\sqrt{\frac{tg\gamma}{r \cdot s}} \cdot (x + L) = \sqrt{\frac{tg\gamma}{r \cdot s}} \cdot x + 2\pi ,$$

odtud

$$\sqrt{\frac{tg\gamma}{s \cdot r}} \cdot L = 2\pi ,$$

$$L = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{s \cdot r}{tg\gamma}} . \quad (2)$$

Pro poměr obvyklých vozových dvojkolí ( $s = 0.75$  m,  $r = 0.5$  m,  $tg \gamma = 0.05$  - sklon jízdni plochy 1:20) vychází  $L = 17.2$  m, při kolech  $\phi 920$  mm pak  $L = 16.5$  m, při změně tvaru jízdni plochy ojetím se dále snižuje.

Volné dvojkolí tedy vykonává vlnivý pohyb, který - není-li ovlivněn vnějšími okolnostmi - neustále opakuje vlny stejného tvaru. K jeho charakteristickým vlastnostem patří

- ♦ nezávislost na velikosti příčného rozkmitu (obr. 9); ať trajektorie dvojkolí téměř sleduje osu rozchodového kanálu nebo příčné amplitudy  $y_0$  dosahují mezní možnosti

$$y_0 = \sigma$$

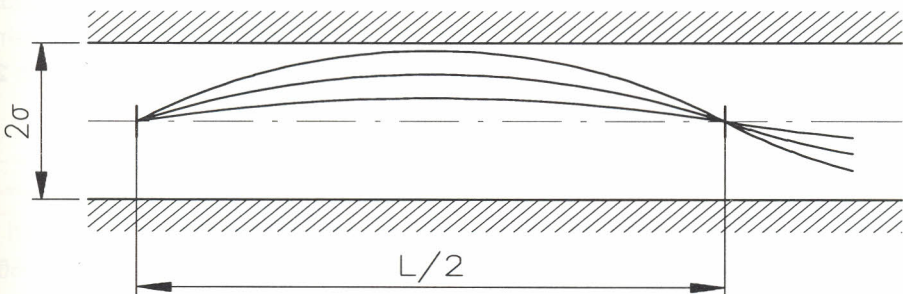
délka vlny a tedy sled vln na dráze zůstává neovlivněn,

- ♦ nezávislost na rychlosti jízdy; vozidlo pociťuje vlnivý pohyb jako budící příčné kmity dvojkolí, jejichž frekvence je úměrná rychlosti jízdy

$$f = \frac{v}{L} \text{ resp. } f = \frac{V}{3,6 \cdot L} , \quad (3)$$

kde rychlost je vyjádřena:  $v$  ... m/s,  $V$  ... km/h.

- ♦ téměř nezávislost na ovlivnitelných parametrech vozidla, zejména na průměru kol; závislost vyjádřená odmocninou značí, že např. změna průměru kola o 10 % ovlivní délku vlny  $L$  o 5 %.



**Obr. 9** K pohybu volného dvojkolí v rozchodovém kanále



#### 4. Pohyb dvojkolí vedeného vozidlem

Dvojkolí může být ke kolejovému vozidlu vázáno buď jednotlivě, prostřednictvím samostatného pojezdu (typické např. u dvounápravových nákladních vozů) nebo prostřednictvím podvozku, kde se záměrně využívá vlastností vyplývajících ze součinnosti dvojice dvojkolí. V obou případech patří k rozhodujícím vstupům systému kvalita vedení dvojkolí vozidlem, zejména existence či neexistence vůlí, tuhost vedení a tlumicí hodnoty vedení, a to u každého nápravového ložiska ve směru podélném i příčném. V obou případech je též shodný cíl: omezit příčné kmitání dvojkolí na přijatelné minimum.

Pojezd nákladního vozu nedává příliš prostoru pro aktivní zásah. Prakticky se využívá toho, že dvojkolí se při opisování vlnivého pohybu poněkud natáčí. Tyto pohyby jsou záměrně provázeny třecím tlumením, které je vyvozováno čepovým třením v závěsech pružnic, což na dobře upravené koleji vede k jistému středění dvojkolí v rozchodovém kanále, k postupnému snižování hodnot  $y_0$ .

Protože tento jev nemusí být dostatečně účinný, zejména na koleji s horší směrovou úpravou, přistupuje se cílevědoměji k odstraňování následků budícího kmitání dvojkolí: nákladní vůz, jako příčně kmitající soustava se zavedením dlouhých (dvojítych) závěsů naladí tak, aby jeho vlastní frekvence příčných kmitů byla nízká. Při zvyšování rychlosti jízdy tak dojde k rezonanci mezi frekvencí budící a vlastní v oblasti nízkých rychlostí (kde rezonance jednak ještě není nebezpečná, jednak brzy ustává) a v oblasti provozních rychlostí již rychlejší příčné kmity dvojkolí nemohou vozovou skříň účinně rozkmitávat (tzv. nadkritické naladění vozidla). Pojezd nákladních vozů podle UIC, řešící tuto problematiku, je zaváděn od 60. let a v současnosti se nachází prakticky na všech dvounápravových vozech ČD.

Podstatně větší možnosti aktivního zasahování do chodových vlastností vozidla dává užití podvozku. Již v období mezi světovými válkami, kdy provozní rychlosti vybraných vlaků začaly systematicky překračovat hranici 120 km/h, byla propracována teorie pohybu volného podvozku po koleji. Jestliže je (podle obr. 10) dvojice dvojkolí navzájem vázána tuhým rámem tak, že body A, B, C, D tvoří přesný obdélník, odolný zkosení i délkové deformaci, pak takový podvozek též vykonává na koleji vlnivý pohyb, délka vlny je však větší než při pohybu samotného dvojkolí. Má-li podvozek rozvor  $2a$  a dvojkolí vzdálenost styčných kružnic  $2s$ , pak úhlopříčná vzdálenost mezi body dotyku kol v podvozku je

$$2u = \sqrt{(2a)^2 + (2s)^2}$$

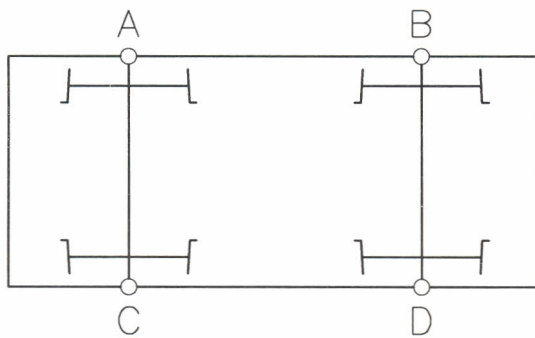
a vztah pro délku vlny  $L$  (2) se mění tak, že na místě veličiny  $s$  se nachází veličina  $u$ . Při obvyklém rozvoru podvozku  $2a = 2,5$  m se tak délka vlny zvyšuje o 60 %.

Tento poznatek měl za následek předně odklon od rozsochových vedení dvojkolí, neboť vůle řádu třeba jen desetín, či několika málo celých milimetrů

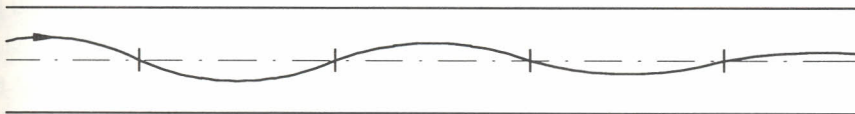
znehodnocují předpoklad držení dvojkolí v tuhém obdélníku a vracejí dvojkolím jejich volnost provázenou vlnivým pohybem s původní kratší délkou vlny. Ve třicátých letech tak vznikají první vedení nápravových ložisek pomocí svislých čepů, příp. kombinovaných s pryžovými prvky a pomocí kyvných ramen.

Vozidla předpokládaná pro vyšší rychlosti pak měla případ od případu i záměrně zvětšenou délku vlny při využití dosavadních teoretických znalostí. Účinným nástrojem se jevil rozvor podvozku. Rychlíkové vozy ČSD dodávané v letech 1937 až 1939 měly podvozky s příkými jhy o rozvoru 3,0 m, motorový vůz řady M 290.0 měl rozvor podvozku 4,1 m při vedení náprav ojnicemi. Příležitostně se přistupovalo i ke změně kuželovitosti jízdni plochy kol: zmíněný motorový vůz Slovenská strela měl kuželovitost sníženu na hodnotu 1:40.

Dvojice dvojkolí vzájemně tuze držená podvozkem má však další pozoruhodnou vlastnost. Zatímco pohyb volného dvojkolí v rozchodovém kanálu se teoreticky může dít bez skluzů, tedy pouhým odvalováním, u podvozku, který se s kolejí stýká ve čtyřech bodech, již čisté odvalování není možné. Vzájemně vázaný pohyb dvojkolí vyžaduje v některých bodech skluzu, a tedy vyvoluje tření. Zde pak nastupuje známý princip mechaniky, že totiž mechanismus zaujímá takový typ pohybu, k němuž je zapotřebí minimum energie. A tím je pohyb po ose rozchodového kanálu, který jediný je bez skluzů. Volný podvozek se proto při vlnivém pohybu postupně středí (obr. 11). Tuto vlastnost velmi názorně dokumentují i simulační výpočty pohybu kolejových vozidel.



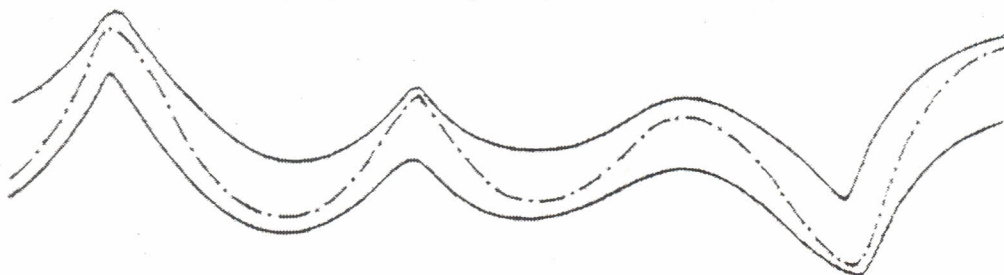
**Obr. 10** Vazba dvojkolí rámem podvozku



**Obr. 11** K pohybu volného podvozku v rozchodovém kanále

Obě zmíněné vlastnosti podvozků, tj. prodloužení délky vlny i samočinné středění, jsou prakticky nezávislé na typu jízdní plochy, pokud má aspoň minimální (konstantní nebo proměnnou) kuželovitost. Vozidlový park jednotně opatřený kuželovým jízdním profilem však vykazuje ještě další, a to nepříznivou vlastnost. Je to jakýsi „kolektivismus“ ve způsobu jízdy. Typ vozidel, tvořící rozhodující procento vozidlového parku (u ČSD to v 60. letech byly nákladní vozy s podvozkem typu 26.2), postupně vnucuje svůj způsob jízdy vozidlům ostatním.

Názorně se to ukázalo při podrobnějším měření polohy obou kolejnicových pásů na přímém úseku silně provozně zatížené koleje hlavního tahu (v 60. letech). Jestliže se záznamy pojízdných hran obou kolejnicových pásů v půdorysu přisunuly k sobě tak, že mezi nimi zůstal právě rozchodový kanál (obr. 12), ukázalo se, že dvojkolí všech vozidel jsou schopna tímto kanálem projet pouze jedním a tímtéž způsobem (naznačeno čerchovanou čarou). Tento stav zřejmě vznikl tak, že po pokládce nové koleje jednotlivá dvojkolí postupně mapovala slabší místa v poloze koleje a tzv. stárnutí koleje, tj. postupný rozpad polohy nastával při působení zákonitostí vlnivého pohybu rozhodujícího podílu vozidlového parku.



**Obr. 12** Determinovaný pohyb dvojkolí v deformovaném rozchodovém kanále

Tento úkaz současně vede k poznání, že příčné kmitavé pohyby dvojkolí v praxi mohou být podstatně intenzivnější, než kolik umožňuje samotná šířka rozchodového kanálu.

## 5. Křivkové jízdní profily

Praktické zkušenosti s kuželovými jízdními profilemi ukázaly jejich poměrně malou trvanlivost. Jakmile se však jízdní plocha projede do určité hloubky, opotřebí se, dojde k její výrazné stabilizaci a další opotřebovávání postupuje již podstatně pomaleji. Tento jev není způsoben pouze zpevněním povrchového materiálu jízdní plochy, ale zejména jistým tvarovým přizpůsobením jízdní plochy kola kolejnici.

Pokud by od počátku bylo použito jízdní plochy v tzv. „opotřebovaném“ tvaru, zajisté by to vedlo k ekonomickým přínosům. Tento záměr inicioval vlnu výzkumu tzv. křivkových jízdních profilů kol, která proběhla u západoevropských železničních správ v 60. letech a jejímž cílem bylo nalezení takového profilu, který zachovává



dlouhou životnost při současné minimalizaci negativního ovlivnění chodových vlastností vozidel. Rozsáhlé teoretické studie i praktické zkoušky vyústily v zavedení jednotného křivkového profilu označovaného UIC-ORE, přesněji S 1002.

Klasická úloha popisu valení volného dvojkolí u těchto profilů nabývá značné složitosti a její řešení z pole užití vyšší matematiky definitivně přechází do oblasti počítačů. Praktické výsledky pak naplňují téměř samostatný obor, který i v tomto sborníku je zastoupen několika články.

Charakteristickou vlastností křivkových jízdních profilů obecně je **proměnná délka vlny**. Každý křivkový profil vychází z příslušného úklonu kolejnic a ladí se na požadované vlastnosti vlnivého pohybu. Pravidelně se požaduje, aby pro malé příčné amplitudy  $y_0$  délka vlny dosahovala mnoha desítek metrů, teprve při větších amplitudách se vlna může příslušně zkracovat.

Tato vlastnost nachází příznivé využití zejména u vysokorychlostních vozidel. Účinným tlumením vrtivého pohybu podvozků (při současném tuhém vedení nápravových ložisek) je podvozek veden s minimalizovaným natáčením a tedy po trajektorii v příčném směru zeštíhlené, délkou vlny však maximalizované.

Související příznivá vlastnost nachází uplatnění v rezonanční oblasti příčného vypružení vozidel. Jestliže příčné kmitání dvojkolí dosáhne frekvence, na jakou je naladěna vozidlová skříň, pak její rezonanční rozkmitání iniciuje též větší amplitudy vlnivého pohybu dvojkolí. To však návazně změní délku vlny a, jak naznačuje vztah (3) současně posune budící frekvenci mimo rezonanční oblast.

Jinou charakteristickou vlastností křivkových profilů je tzv. **zóna přimknutí**, oblast zvýšené kuželovitosti jízdního profilu v blízkosti okolku. Tou se sleduje odstranění tvrdých nárazů okolků na bok hlavy kolejnice. Dvojkolí příčně velmi vychýlené se pak účinně natáčí ke středu rozchodového kanálu a to případně i za současného mírného najetí okolků do zvýšené polohy vůči hlavě kolejnice.

Celá paleta vlastností křivkových jízdních ploch je podrobně studována a jejich užití je provázáno souvisejícími technickými opatřeními. Patří k nim přesné definování tvaru okolku, zejména jeho strmost a závazné zbytkové vlastnosti při opotřebení, stejně tak jako precizování tvaru jízdní plochy kolejnice (zejména jejího úklonu) a jejího pružného upevnění.

Užití křivkových jízdních profilů obecně odstraňuje uniformitu v chování jednotlivých dvojkolí. Na dokonale upravené přímkové koleji jednotlivá dvojkolí soupravy vykazují náhodné chování co do délek vln i jejich vzájemného přemístění. Kolej proto déle zůstává v původním stavu (zpomaluje se proces stárnutí koleje) a není jí vnucována deformace „většinového chování“.

Nový způsob jízdy po koleji vede i k jinému hodnocení nerovností. Od jednotlivého hodnocení velkých úchylek se přechází ke statistickému hodnocení vln kolejnicových pásů, případně k jejich hodnocení ve vlnových pásmech.

Křivková jízdní plocha kola, která je dokonalejší, ale i křehčím nástrojem chodu vozidel však vyžaduje adekvátní využívání. Tím je míněna nejen vyšší potřebná přesnost při jejím vytváření, ale zejména dokonalý způsob vedení dvojkolí v rámu podvozku a, při vyšších rychlostech, též účinné tlumení jeho vrtivých pohybů.

*Lektoroval: Doc. Ing. Jiří Izer, CSc.*

Předloženo v červnu 1996.

## **Resumé**

### **ZÁKLADY POHYBU PO KOLEJI**

Zdeněk MARUNA

Rekapitulace elementárních úvah a intuicí, které vedly k vytvoření koncepce kolejového vozidla a jeho dopravní cesty vyústuje v základní informaci o vedení dvojkolí v rozchodovém kanále, jako nezbytném úvodu k následujícím článkům o kontaktní geometrii.

## **Summary**

### **PRINCIPLES OF MOTION ALONG A RAIL**

Zdeněk MARUNA

Recapitulation of elementary reflections and intuitions, that had led to the conception of a railway vehicle and its transport road, brings the principal information on guiding the wheel set in the gange port as essential introduction of the following papers about the contact geometry.

## **Zusammenfassung**

### **GRÜNDE DER RADSATZBEWEGUNG AUF DER GLEISE**

Zdeněk MARUNA

Eine Rekapitulation der Elementarbetrachtungen und Intuitionen, die zur Bildung der Schienenfahrzeugkonzeption und dessen Verkehrswege geführt haben, mündet in eine Grundinformation über der Radsatzführung im Spurkanal. Sie stellt auf diese Weise eine unentbehrliche Einleitung in die folgenden Artikel über der Kontaktgeometrie dar.