

## ALTERNATIVNÍ KONCEPCE PODVOZKŮ PRO VOZOVÉ JEDNOTKY

### ALTERNATIVE CONCEPT OF BOGIES FOR UNITS

Jiří ŠLAPÁK<sup>1</sup>, Adam NOVÁK<sup>2</sup>

#### Abstrakt

Článek se zabývá využitím alternativních koncepcí podvozků Jakobsova typu a podvozků s vnitřním rámem pro vozové jednotky. Jsou zde uvedeny konstrukční koncepce těchto podvozků předních evropských výrobců kolejových vozidel. V případě podvozku Jakobsova typu je uveden přehled zaměřený na člen spojení vozidlových skříní a podvozku. V případě podvozku s vnitřním rámem je zde uveden přehled výhod jeho použití oproti konvenčním podvozkům.

#### Klíčová slova

podvozek Jakobs, vnitřní rám, člen spojení

#### Abstract

*The article deals using of alternative concepts of Jakobs bogies and inside frame bogies for railway units. There are design concepts of these bogies of leading European producers of railway vehicles. In the case of Jakobs bogies there is overview aimed to connection part of vehicles bodies. In the case of inside frame bogie there is overview of the positives of using this bogie instead of using conventional bogies.*

#### Keywords

*Jakobs bogie, inside frame, connection part*

## 1 ÚVOD

Podvozek Jakobsova typu zkonstruoval Wilhelm Jakobs a byl patentován v roce 1901. Oproti běžné koncepci podvozkových vozidel, kdy je každá vozidlová skříň se svými podvozky samostatná, jsou při použití Jakobsova podvozku vždy dvě sousední skříně uloženy na společný podvozek. Tato koncepce vyžaduje speciální způsob spojení vozidlových skříní, který zároveň umožňuje vazbu skříní s podvozkem. Tímto způsobem lze sestavovat libovolně dlouhé soupravy.

Podvozky s vnitřními rámy se u kolejových vozidel používaly již od počátku provozu prvních železnic. Typickým příkladem takového použití jsou parní lokomotivy. U konvenčních podvozků jsou nápravová ložiska umístěna na koncích náprav. Zásadním rozdílem podvozků s vnitřním rámem je tzv. nekonvenční ložiskování – umístění nápravových ložisek mezi koly (tedy ve střední části nápravy). V současné době se vyskytly snahy některých výrobců o návrat k těmto konstrukcím, neboť mají oproti konvenčním podvozkům určité výhody (viz kap. 3).

<sup>1</sup> Bc. Jiří Šlapák, student navazujícího magisterského studia oboru Dopravní prostředky – zaměření Kolejová vozidla na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice (University of Pardubice, Faculty of Transport Engineering). E-mail: jiri.slapak@student.upce.cz

<sup>2</sup> Bc. Adam Novák, student navazujícího magisterského studia oboru Dopravní prostředky – zaměření Kolejová vozidla na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice (University of Pardubice, Faculty of Transport Engineering). E-mail: adam.novak@student.upce.cz

## 2 PODVOZKY JAKOBSOVA TYPU

Vlivem konstrukce skříní současných vozidel z lehkých materiálů dochází ke snižování nápravového zatížení čtyřnápravových vozů. To umožňuje snížení počtu náprav potřebných k nesení jedné vozidlové skříně a využití koncepce jednotky s podvozky typu Jakobs. Potom připadá na jednu skříně jednotky pouze jeden podvozek (vyjma koncových vozů jednotky), tím je snížena celková hmotnost jednotky.

Jelikož jsou podvozky umístěny ve spojení skříní, vzniká mezi nimi prostor vhodný pro nízkopodlažní konstrukci skříní vozidel. Zároveň se vlivem snížení počtu podvozku zmenší délka neumožňující nízkopodlažnost vůči délce celé jednotky.

Podvozky Jakobsova typu mají obecně větší rozvor než klasické koncepce, a to od 2400 mm do 2800 mm. To přispívá k udržení stabilního chodu i při vyšších rychlostech jízdy.

Uložení sousedních vozidlových skříní na jeden podvozek znemožňuje rozpojení jednotky v běžném provozu. Rozpojení je umožněno pouze při údržbovém procesu.

### 2.1 Výrobce Bombardier

Podvozky Jakobsova typu výrobce Bombardier jsou označovány Bombardier FLEXX Compact. Jsou určeny pro příměstskou a regionální dopravu. Použity jsou v motorových jednotkách Bombardier Talent, v elektrických jednotkách AGC a SPACIUM 3.06 ve Francii, a Talent v Německu a Rakousku.

Rám podvozku je lehký, torzně poddajný, svařované konstrukce. Prvotní vypružení je provedeno pomocí šroubovité pružiny a k ní paralelně umístěné pryžové pružiny. Tlumení je kromě vnitřního útlumu pryžové pružiny zajištěno hydraulickým tlumičem. Pryžová pružina plní funkci vedení dvojkolí. Druhotné vypružení je realizováno čtveřicí vzduchových pružin, kdy vždy dvě pružiny náleží jedné vozidlové skříně. Paralelně ke každé vzduchové pružině je umístěn tlumič.

Mezi příčnický rám podvozku je vytvořen prostor pro člen spojení vozidlových skříní, který tímto rámem prostupuje. Pomocí nárazek umístěných v tomto prostoru je omezován pohyb členu v podélném a příčném směru. Tlumení příčných kmitů je realizováno tlumičem spojujícím rám podvozku a člen spojení.

Přenos podélných sil zajišťuje čtverhranný čep vystupující z členu spojení vozidlových skříní.

### 2.2 Výrobce Siemens

Výrobce Siemens využívá koncepcí podvozku Jakobsova typu pro jednotky rodiny Desiro. Podvozky jsou označovány SF 5000 E JTDG a SF 5000 JLDG, a jsou vyvinuty až pro rychlost 200 km/h. Vyráběny jsou jako hnací i běžné, pro motorovou i elektrickou trakci.

Rám podvozku je svařované konstrukce. Vedení dvojkolí je realizováno kyvným ramenem. Šroubovité pružiny prvotního vypružení s pryžovými elementy jsou umístěny nad nápravovými ložisky. Paralelně k pružinám prvotního vypružení je umístěn hydraulický tlumič. Druhotné vypružení zajišťují čtyři vzduchové pružiny, tedy vždy dvě pro každou vozidlovou skříně.

Prostor vytvořený mezi příčnický podvozku umožňuje umístění členu spojení vozidlových skříní. Člen spojení vozidlových skříní s příčnickem rámu podvozku je spojen prostřednictvím podélné ojnice, která zajišťuje přenos podélných sil.

Představitel podvozku Jakobsova typu společnosti Siemens pro regionální dopravu je označován SF 4000 JLDG. Je vyvinut pro motorové jednotky s rychlostí do 120 km/h.

### 2.3 Člen spojení vozidlových skříní a podvozku

Důležitým prvkem koncepce vozidla s podvozky typu Jakobs je spojení vozidlových skříní, které zároveň musí zajišťovat vazbu skříní k podvozku.

## Příčný čep

Zřejmě nejběžnějším konstrukčním řešením spojení vozidlových skříní je spojení pomocí příčného čepu (viz obr. 1 vlevo). V tomto případě z čela jedné skříně vystupuje konzola vidlicového tvaru (1) s výřezy pro příčný čep (2), který je uložený v pryžovém pouzdru (3) oka (4) vystupujícího z čela druhé skříně. Tento člen umožňuje natáčení kolem příčné osy. Natáčení kolem podélné a svislé osy je zajištěno deformací pryžového uložení čepu.

Spojení příčným čepem je použito u výše uvedených podvozků výrobců Siemens a Bombardier, kde část vidlicové konzoly (1) vstupuje do středu podvozku a zajišťuje připojení podélné ojnice pro přenos podélných sil nebo tvoří samotný čtverhranný čep. Dále je tento člen použit např. v jednotkách Civia společnosti CAF, Coradia Polyvalent výrobce Alstom.

Dalším příkladem je jednotka Flirt výrobce Stadler, u které však přenos podélných sil mezi rámem podvozku a členem spojení zajišťuje svislý čep, který vystupuje z vidlicové části členu spojení skříní. Svislý čep může dále vstupovat do lemniskátového mechanismu. Je tak umožněno natáčení podvozku kolem svislé osy vůči skříním jednotky.

Tento způsob spojení vyžaduje uložení skříní na druhotném vypružení, které zajišťuje přenos svislých sil.

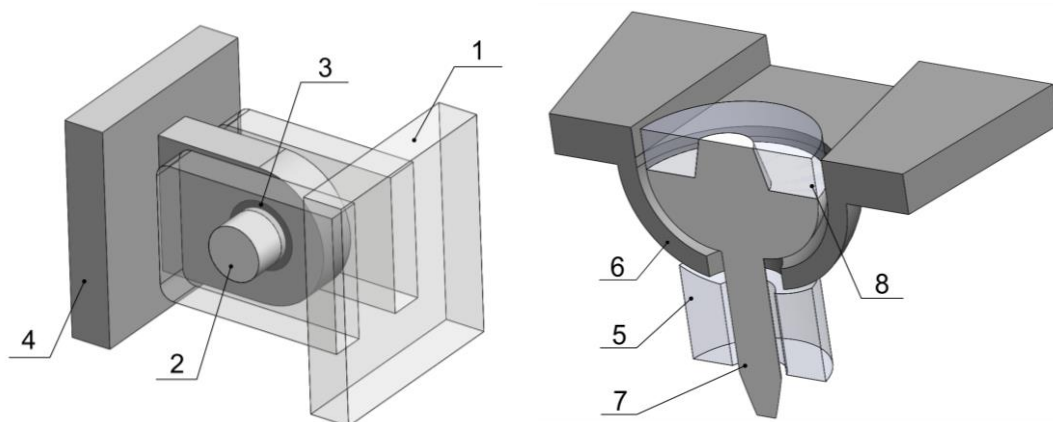
## Kulová torňa

Další možnou koncepcí spojení vozidlových skříní je pomocí kulové torně (viz obr. 1 vpravo). Konstrukce je tvořena dolní torňou (5), která vystupuje z kolébky podvozku. Horní torňa je součástí jedné vozidlové skříně (6). Do horní torně je umístěna vložka s čepem (7). Na ní je potom uložena druhá skříně (8).

Kulová torňa umožňuje přenos podélných a příčných sil mezi skříněmi a podvozkem, a natáčení podvozku vůči skříním kolem svislé osy.

Svislé zatížení od skříní jednotky je přenášeno pomocí samotné torně a odpružených kluznic. Kulová torňa umožňuje natáčení skříní kolem příčné i podélné osy v závislosti na konstrukci vůlí jednotlivých dílů.

Tento druh spojení se používá u kontejnerových vozů s podvozkem Y25. Avšak konstrukce je odlišná vlivem absence kolébky podvozku.



**Obr. 1** Funkční 3D model členu spojení vozidlových skříní pomocí příčného čepu (vlevo) a kulové torně (vpravo)

### 3 PODVOZKY S VNITŘNÍM RÁMEM

Při použití podvozků s vnitřním rámem lze dosáhnout oproti běžným konvenčním podvozkům několika zásadních výhod:

- menší rozměry (až o 30 %) a menší hmotnost (až o 37 %) umožňují získat větší prostor pro komponenty umístované na spodek rámu vozidla a úsporu provozních nákladů,
- snížení nevypružených hmot (až o 30 %) znamená snížení negativních účinků vozidla na kolej (tedy snížení opotřebenění jízdních obrysů kol a příčných profilů hlav kolejnic),
- příznivější průběh ohybového momentu při namáhání dvojkolí svislými a příčnými silami snižuje nároky na dimenzování nápravy,
- vzdálenost středů ložiskových čepů je menší, než vzdálenost styčných kružnic, což je příznivé z hlediska změny svislých kolových sil na zborcené koleji,
- v důsledku výše zmíněných pozitiv je umožněno prodloužení kilometrických proběhů do výměny kol a generální opravy podvozku, přičemž výměna kol je méně náročná,
- při použití menšího rozvoru podvozku lze snížit velikost třecí práce (součin podélné skluzové síly a relativního skluzu).

Koncepce vnitřního ložiskování má ovšem také své nevýhody:

- nutnost slisování obou kol při výměně nápravových ložisek,
- zpravidla tuhé prvotní vypružení z důvodu nízko položeného rámu podvozku,
- doposud není uzavřen soubor evropských norem týkajících se problematiky podvozků s vnitřním rámem.

V současnosti se vývojem a výrobou podvozků s vnitřním rámem zabývají výrobci Bombardier a Siemens.

#### 3.1 Výrobce Bombardier

Firma Bombardier zahájila vývoj podvozků s vnitřním rámem společně se společností British Rail v roce 1989. V 90. letech bylo vyprodukováno několik prototypů podvozků pro společnosti DB AG a NSB. Podvozky s vnitřním rámem firmy Bombardier našly největšího využití ve Spojeném království na jednotkách řad 220, 222 a 172, v Německu na soupravách vlaků ICx a v Norsku na vozech B5.

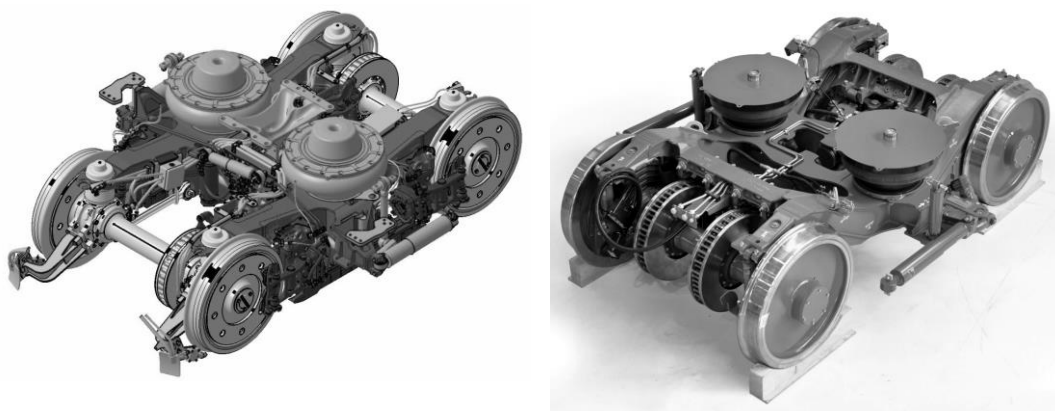
Podvozky s vnitřním rámem vyrobené firmou Bombardier vychází z jednotné koncepce a liší se např. v provedení brzdových systémů či počtech dosazených tlumičů apod. Konkrétně se jedná o hnací podvozek B 5000 pro jednotky společnosti Virgin Rail & MML ve Spojeném království a o podvozek FLEXX Eco 5101 (viz obr. 2 vlevo) pro jednotky ICx a další z něj odvozené hnací podvozky (505x, 501x) pro soupravy metra atd.

Rám podvozku je svařen z ocelových plechů s navařenými ocelovými odlitky a má tvar písmene H, tedy bez čelníků, což umožňuje značnou torzní poddajnost. Nápravy jsou z důvodu snížení nevypružených hmot realizovány jako vrtnané s průměrem otvoru 70 mm. Na vrchní straně ložiskové skříně je umístěna pryžová kónická pružina výrobní řady Metacone, která je ve své vrchní části uchycena v misce podélníku rámu podvozku. Jelikož je na ložiskové skříně usazena pouze jedna pružina, je vedení dvojkolí doplněno navíc tažně-tlačnou tyčí (ojnicí) pro přenos podélných sil. Jelikož je tato ojnice uložena pomocí pryžokovových pouzder, nenachází se v celém uzlu vedení dvojkolí žádné třecí dvojice, čímž je omezeno opotřebování příslušných komponent a vyloučen vznik vůlí. Druhotné vypružení je tvořeno dvěma vzduchovými pružinami. Podélné síly mezi rámem podvozku a skříní vozidla přenáší středový čep. Brzdový systém podvozku je tvořen brzdou kotoučovou nebo diskovou (s brzdovými disky v kolech) či brzdou špalíkovou a u některých podvozků je doplněna navíc i magnetická kolejnicová brzda. Podvozek je dále vybaven torzním stabilizátorem. V případě hnacích podvozků je pohon nejčastěji zajištěn odpruženým trakčním motorem s čelní nápravovou převodovkou, které jsou sdruženy v ucelené pohonné jednotce.

### 3.2 Výrobce Siemens

I v případě podvozků s vnitřním rámem výrobce Siemens se jednalo o zakázku pro Spojené království. Výsledkem je podvozek SF 7000 určený pro nové jednotky Desiro City společnosti Thameslink. Tento podvozek byl zkonstruován ve variantě běžné (viz obr. 2 vpravo) i hnací. Oproti svému předchůdci, podvozku s vnějším rámem typu SF 5000, se tento podvozek liší, kromě vnitřního ložiskování, zejména kratším rozvorem a menším průměrem kol.

Rám podvozku je opět svařované konstrukce ve tvaru písmene H, tedy bez čelníků s dosazením dvou příčných výtuh. Z důvodu snížení neodpružených hmot jsou i v tomto případě nápravy vrtané. Na vrchní straně ložiskové skříně spočívá pryžová pružina lomeného tvaru, namáhaná převážně na tlak, která je ve své vrchní části uchycena ke spodku podélníku podvozku. Podobné pryžové bloky se využívají např. u britského nákladního podvozku TF 25. Vedení dvojkolí je realizováno kyvným ramenem, přičemž ložisková skříň je součástí tohoto ramena. Kyvné rameno je uchyceno k rámu podvozku pomocí pryžokovového pouzdra a tedy ani v tomto případě se ve vedení dvojkolí nevyskytují žádné třecí dvojice. Druhotné vypružení tvoří pneumatické pružiny. Přenos podélných sil mezi podvozkem a skříní vozidla zajišťuje středový čep. Brzdovou výstroj běžného podvozku tvoří čtyři brzdové jednotky kotoučové brzdy. Brzdovou výstroj hnacího podvozku tvoří systém brzdy elektrodynamické s možností rekuperace a brzdy špalíkové. Trakční motor na hnacím podvozku je spojen pružně s rámem podvozku bez ložiskování na nápravu. Točivý moment se přenáší z trakčního motoru pomocí zubové spojky a čelní nápravové převodovky na dvojkolí. Hnací podvozek je dále vybaven bočním sběračem proudu.



**Obr. 2** Podvozek s vnitřním rámem Bombardier FLEXX Eco 5101 (vlevo) a nehnací podvozek Siemens SF 7000 (vpravo); zdroj: podklady k přednáškám z konstrukce kolejových vozidel (Petr Voltr)

## 4 ZÁVĚR

Trendem poslední doby v osobní dopravě je konstrukce lehkých vozových jednotek, a to jak pro dopravu regionální, tak vysokorychlostní. U těchto jednotek jsou pevně stanoveny počty vozových skříní a v provozu se nerozpojují. Proto jsou ideální pro využití podvozku Jakobsova typu. Vzhledem k většímu rozvoru podvozků je možné vhodným rozmístěním potřebných komponent na podvozek snižovat jeho výšku a docílit tak snížení podlahy jednotky oproti klasické koncepci. To může být využito při konstrukci patrových vozů a k zvýšení obsaditelnosti jednotky. Kromě uvedených řešení členu spojení vozidlových skříní jsou využívány systémy uložení obou skříní pouze na dvou vzduchových pružinách (např. výrobce PESA), případně konstrukce s mezirámem uloženým na druhotném vypružení (např. jednotky TGV).

Současný návrat k podvozkům s vnitřním rámem je důsledkem snahy o zlepšení vlastností pojezdu a snížení negativních účinků vozidla na kolej. V současné době vyráběné podvozky s vnitřním rámem byly určeny převážně pro jednotky provozované ve Velké Británii. Právě zde byl totiž (jako v první evropské zemi) zaveden systém poplatků za použití železniční dopravní cesty v závislosti na tom, jak moc je pojezd vozidla „přívětivý“ k dopravní cestě. Podobná koncepce poplatků se později začala uplatňovat i v Rakousku a ve Švýcarsku. Lze předpokládat, že v souvislosti s prováděcím nařízením Evropské komise 2015/909 budou další evropští správci železniční infrastruktury zavádět systémy podobné, což bude znamenat určitý motivační prostředek pro železniční dopravce k pořizování vozidel s takovými pojezdy, kterou budou železniční infrastrukturu méně poškozovat. Jedním z možných řešení jsou právě podvozky s vnitřním rámem.

Příspěvek vznikl za podpory studentské grantové soutěže Univerzity Pardubice ev. č. SGS\_2017\_009 „Dopravní technika, technologie a řízení“.



### Literatura

- [1] BOMBARDIER. *FLEXX Compact Bogies. Modular Approach for Maximum Design Flexibility.* (informační prospekt)
- [2] SIEMENS AG. *First Class Bogie. The complete programme for high-quality railway transportation.* (informační prospekt)
- [3] MANNSBARTH, H. *Moderne innengelagerte Drehgestelle für den Vollbahnbereich.* Bombardier, 2014.
- [4] BOMBARDIER. *FLEXX Eco Bogies. Defying Convention.* (informační prospekt)
- [5] BOMBARDIER. *EcoActive Technologies. FLEXX Eco Bogie.* (informační prospekt)
- [6] HIRTENLECHNER, J., BRANDSTETTER, J. SF 7000 das innovative Fahrwerkskonzept als Antwort auf Whole Life Cost Modelle. In: *Moderne Schienenfahrzeuge*: 41. Tagung, 7.–10. April 2013. Graz, 2013.
- [7] SIEMENS AG. *Desiro City. Electrical Multiple Unit for Thameslink.* 2013. (informační prospekt)
- [8] KÜTER, CH. Design to Value – die Entwicklung des Drehgestells SF 7000. *ZEVrail*. 2012, **136**(11/12), 420–426. ISSN 1618-8330.
- [9] MICHÁLEK, T., ZELENKA, J. K problematice silových účinků vozidla na kolej ve vztahu k placení poplatků za použití dopravní cesty. *Nová železniční technika*. 2016, 5, 12–19. ISSN 1210-3942.