



**26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOLAJOVÝCH
VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko**

<https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.11>

**VNITŘNÍ USPOŘÁDÁNÍ LOŽISEK NA NÁPRAVĚ – VÝHODNÉ ŘEŠENÍ
PRO VÝROBCE VLAKU A VÝZVA PRO DODAVATELE LOŽISEK
*INBOARD BEARING ARRANGEMENT – ADVANTAGEOUS SOLUTION
FOR TRAIN BUILDER, CHALLENGE FOR BEARING SUPPLIER***

Ondřej NOVOTNÝ^{*)}, Jan BABKA

1 ÚVOD

Tento příspěvek se věnuje problematice vnitřního (inboard) a vnějšího (outboard) uspořádání nápravové skříně a ložisek na nápravě (**obr. 1**). V současné době se většina železničních podvozků navrhuje jako řešení s vnějším uspořádáním. Ale na základě zkušeností a dalšího vývoje lze předpokládat, že uspořádání s vnitřním rámem se bude stále více používat v konstrukci železničních aplikací.

Konstrukteři podvozků mají dobré důvody, proč volit vnitřní uspořádání ložisek. Přináší jim to několik významných výhod. V první řadě snížení neodpružených hmot, což se projeví ze

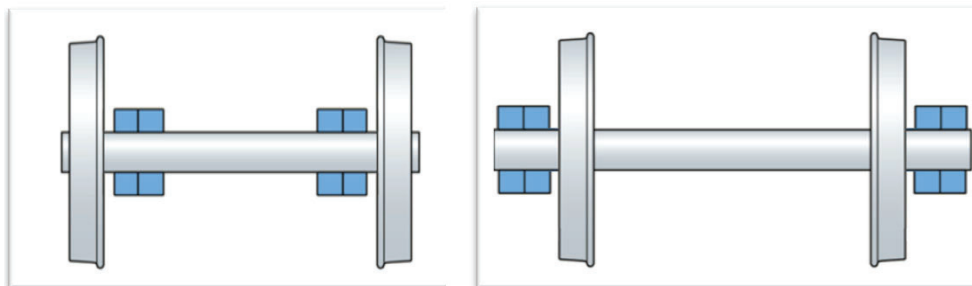
jména snížením celkové hmotnosti vlaku, ale také snížením opotřebení kol a kolejnic, zlepšením jízdních vlastností podvozku a pro nápravu příznivější křivkou ohybového momentu. U vozidel s vyšší rychlostí se také značnělepší aerodynamické parametry. Vnitřní uspořádání rovněž umožňuje zjednodušení údržby kol. Celkově použití vnitřního uspořádání vede ke snížení LCC a snížení emisí CO₂. To jsou důvody, proč železniční průmysl stále více směřuje k vnitřnímu uspořádání.

Princip vnitřního uložení ložisek dvojkolí byl přitom používán již v rané historii železnice. Již parní lokomotivy byly vybaveny kluznými ložisky s vnitřním uspořádáním. Později začala být pomalejší železniční vozidla, jako například tramvaje, vybavována valivými ložisky s vnitřním uspořádáním. Použití vnitřního uspořádání v rychlejších kolejových aplikacích se začalo objevovat daleko později. První rychlejší aplikace se objevily ve Velké Británii v 80. letech minulého století. Právě tam došlo k postupnému mapování a řešení jednotlivých technických výzev provázející vnitřní uložení, zejména kontaktní koroze. Během let tyto britské podvozky prošly několika vývojovými generacemi a dnes je lze považovat za velmi úspěšné a spolehlivé konstrukce. Vnitřním uspořádáním jsou dnes vybaveny i další vysokorychlostní aplikace, jako například běžné podvozky dálkových vysokorychlostních vlaků Intercity-Express Německých drah.

Článek se zabývá několika technickými problémy způsobenými vnitřním uspořádáním ložisek kol a nastiňuje jejich možná řešení. Jednotlivé technické výzvy jsou rozděleny do dvou hlavních kapitol.

^{*)} **Ing. Ondřej NOVOTNÝ, Ph.D.**, SKF CZ a.s., Dělnická 1628/9 Holešovice, 170 00 Praha 7, Tel.: +420 603 821 503, e-mail: ondrej.novotny@skf.com.

2 Ing. Jan BABKA, SKF CZ a.s., Dělnická 1628/9 Holešovice, 170 00 Praha 7, Tel.: +420 603 428 740, e-mail: jan.babka@skf.com.

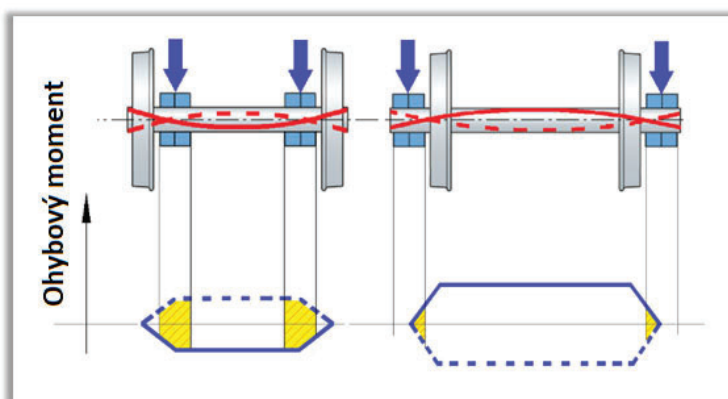


Obr. 1 Vnitřní a vnější ložiskové uspořádání
Fig. 1 Inboard and Outboard bearing arrangement

2 VÝZVA ČÍSLO JEDNA: UMÍSTĚNÍ NÁPRAVOVÉHO LOŽISKA V BODĚ MAXIMÁLNÍHO OHYBOVÉHO MOMENTU

V případě vnitřního uspořádání je průhyb nápravy menší než v případě klasického uspořádání. Při pohledu na průběh ohybového momentu vnitřního uspořádání (**obr. 2**) je zřejmé, že pokud chceme zajistit, aby ložisko nebylo namontováno v oblasti nejvyššího ohybového momentu, musí být umístěno co nejbližší ke kolu. To není vždy zcela možné. Proto je obvykle v případě vnitřního uspořádání ložisko umístěno na nápravě v oblasti blízké maximálnímu ohybovému momentu nápravy. Navíc moment mění svůj směr při každé půlotočce dvojkolí. Mění se čára průhybu a průběh momentu jsou vyjádřeny na **obr. 2** plnými a přerušovanými čarami. K tomuto rotačnímu ohybu samozřejmě dochází i v případě vnějšího uspořádání. Tam je však ložisko namontováno na nápravě na mnohem klidnějším místě, pokud jde o rotační ohyb. Na **obr. 2** jsou žlutě (šrafovaně) vyznačeny pro ložiska kritické oblasti.

- Pokud jsou vnitřní kroužky ložiska namontovány na nápravě v oblasti s tak intenzivním rotačním ohybem, zvyšuje se riziko dvou škodlivých jevů:
- Postupné uvolňování a následné protáčení vnitřního kroužku na nápravě (creep).
- Styková koroze na čelech nosných dílů namontovaných na nápravě a jejich přilehlých součástech.



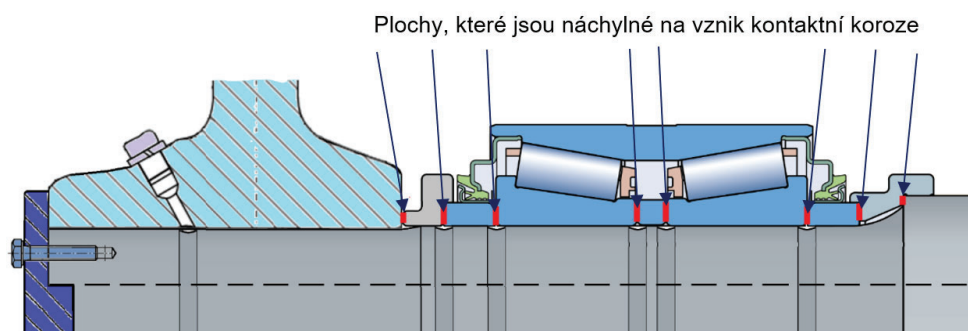
Obr. 2 Průběh ohybového momentu železniční nápravy při čistě radiálním zatížení
Fig. 2 Course of the bending moment of the railway under purely radial loading

Na prvni pohled by se zdálo, že první riziko, tedy nebezpečí protočení vnitřního kroužku v jeho uložení na nápravě, by mohlo být eliminováno jednoduše zvýšením přesahu uložení. To by však bylo možné pouze tehdy, pokud by se spolu se zvýšením přesahu také zvětšil průřez vnitřního kroužku ložiska. Pouze za této podmínky nehozí překročení mezní pevnosti vnitřního kroužku a nebezpečí prasknutí kroužku. Zvýšení proporcí ložiska ve vnitřním uspořádání však není možné z následujících důvodů:

- Díra vnitřního kroužku musí být větší než díra kola, jinak by nebylo možné namontovat ložiska mezi kola
- Pokud bychom chtěli aplikovat na ložisko s větším vnitřním průměrem stejné proporce, jaké jsou obvyklé pro vnější ložiska nebo i větší, vedlo by to k neúměrně velkému vnějšímu průměru ložiska, pro který není v této části podvozku dostatek místa

Z důvodu výše zmíněné problematiky se správná konstrukce vnitřního ložiskového systému stává předmětem pečlivého vzájemného ladění několika parametrů: proporcí ložiska, uložení s přesahem, pevnosti materiálu ložiskových kroužků a také axiální polohy ložiska vzhledem ke kolu. Uložení vnitřního ložiska musí být na jedné straně dostatečně pevné, aby se zabránilo pootočení vnitřního kroužku, což by mohlo vést ke vzniku extenzivní kontaktní korozí, k poškození sedla nápravy nebo dokonce k prasknutí kroužku. Na druhé straně nesmí být uložení s příliš velkým přesahem, protože by to mohlo ohrozit pevnost vnitřního kroužku.

Druhým škodlivým jevem, který je v případě vnitřních ložisek způsoben umístěním vnitřních kroužků v oblasti nápravy s intenzivním rotačním ohybem, jsou intenzivnější relativní mikropohyby čel částí ložisek namontovaných na nápravě vůči jejich přilehlým součástem (opěrný kroužek, centrální distanční kroužek a také distanční kroužky mezi kolem a ložiskem). Schematicky to je znázorněno na **obr. 3**, kde jsou kritické oblasti vyznačeny červeně. Během otáčení dvojkolí se mění směr relativních mikropohybů červeně označených navzájem přiléhajících čelních ploch dílů. Tyto vzájemné mikropohyby vedou v průběhu času ke vzniku stykové korozí, což znamená ztrátu materiálu a snížení axiálního sevření sestavy ložiska kola. Snížení axiálního sevření vede k větší vůli dílů namontovaných na nápravě a tím k ještě většímu riziku vytváření stykové korozí.



Obr. 3 Červeně vyznačené plochy jednotlivých dílů jsou zvláště náchylné na vznik kontaktní korozí

Fig. 3 Faces of the parts highlighted in red are particularly susceptible to fretting corrosion in case of inboard arrangement

Z tohoto důvodu je nutné ve fázi návrhu vnitřního uspořádání věnovat velkou pozornost snížení počtu dílů v montážním řetězci, optimalizaci axiální svěrné síly a konstrukčním opatřením, která zabraňují předčasné a rozsáhlé tvorbě stykové korozí na čelech dílů.

Obě rizika (protočení vnitřních kroužků a styková koroze na čelech jednotlivých dílů) mohou být v případě vnitřního uspořádání silně podpořena dvěma faktory:

- Velikost dutiny v nápravě, která snižuje tuhost nápravy, čímž se zvyšuje amplituda rotačního ohybu nápravy
- Rychlost vozidla. Čím vyšší je rychlost, tím větší je frekvence ohybu otáčení nápravy a tím je vyšší riziko vzniku stykové koroze v uložení díry vnitřního kroužku/sedla nápravy a na čelech dílů. A také to znamená vyšší riziko únavového poškození vnitřního kroužku.

3 VÝZVA ČÍSLO 2: SPRÁVNÁ MONTÁŽ KOLA

Princip montáže vnitřních ložisek kol se neliší od montáže vnějšího uložení ložisek. Podstatným rozdílem je však montáž kola. Kolo je přitlačeno k ložisku, je s ním v přímém fyzickém kontaktu. Proto musí konečná dosedací síla kola respektovat přípustnou svěrnou sílu působící na ložisko. Pokud je ložisko sevřeno příliš velkou silou, může to mít nepříznivý vliv na jeho výkonnost v aplikaci. Naopak, pokud je upnuto příliš malou silou, bude velmi náchylné na kontaktní korozi. Nastavení správného intervalu koncové dosedací síly kola proto představuje pro technologii montáže kola významnou výzvu.

Vnější ložiskové uspořádání nečelí těmto obtížím, protože nemají žádnou interakci s kolem.

4 ZÁVĚR

Návrh železničních ložisek s vnitřním uspořádáním je velmi složitý konstrukční úkol, zejména v případě vozidel s vyššími rychlostmi nebo vyšším zatížením. Proto jejich správná konstrukce vyžaduje včasnou a úzkou spolupráci mezi konstruktérem podvozku a aplikačním technikem výrobce ložiska. Vzájemnou spolupráci tak lze pečlivě optimalizovat veškeré spolu sousedící díly, přesah uložení ložiska a finální svěrnou sílu ložiska po montáži kola. Pokud bude tato optimalizace úspěšná, může vnitřní uspořádání významně přispět k celkovému výkonu ložiska, snížení LCC, šetrnému chování vozidla ke kolejnici a v konečném důsledku také ke snížení spotřeby energie a emisí CO₂.

Literatura

[1] **SKF Group**,: SKF Railway technical handbook, volume 1, July 2011, strana 30 ISBN 978-91-978966-3-4. [2] **Heiko Mannsbarth**,: „Moderne innengelagerte Drehgestelle für den Vollbahnbereich“, Bombardier, 2014, strana 6, 9, 11, 12. [3] **Jan Babka**,: SKF Group, 19. Internationale Schienenfahrzeugtagung Dresden 2023 „Radsätze mit Innenlagerung – vorteilhafte Lösung für Zughersteller, Herausforderung für Lagerlieferanten“. [4] **Global Railway Review, 2013**, : „FLEXX Compact – the most successful platform for regional and commuter trains“, <https://www.globalrailwayreview.com/article/19492/flexx-compact-the-most-successful-bogie-platform-for-regional-and-commuter-trains/>. [5] **SKF Evolution, 2017**,: „Railway order for German Railways“ - <https://evolution.skf.com/railway-order-for-german-railways/>.



Resumé

Ve většině případů železničních aplikací jsou nápravové skříně umístěny na koncích náprav. Tradičně mají některá vozidla, jako jsou tramvaje nebo lehká kolejová vozidla, často nápravová ložiska umístěna mezi koly, tzv. Inboard solution. Ovšem takové vnitřní uspořádání ložisek je velmi atraktivním řešením také pro vysokorychlostní vozidla hlavně díky redukci neodpružených hmot a dalším výhodám. Současně ovšem toto řešení přináší

v azn e výzvy, jak pro konstruktéra podvozku, tak konstruktéra ložiska. Tento  l anek se zam eruje na výzvy vnitřního reen  právě z hlediska ložiska.

Summary

In most rail applications, axleboxes are located at the ends of the axles. Traditionally, some vehicles, such as trams or light rail vehicles, often have the axle bearings placed between the wheels, the so-called Inboard solution. However, such an inboard bearing arrangement is also a very attractive solution for high-speed vehicles mainly due to the reduction of unsprung masses and other advantages. At the same time, however, this solution brings serious challenges for both the bogie designer and the bearing designer. This paper focuses on the challenges of the inboard solutions from the bearing point of view.



