

BĚŽNÝ PODVOZEK PRO ÚZKÝ ROZCHOD 600MM SVOČ – FST 2017

Jan Beno
Západočeská univerzita v Plzni,
J. Bendy 16, 37005, České Budějovice,
Česká Republika

ABSTRAKT

Bakalářská práce se věnuje návrhu, výrobě a následnému zkušebnímu provozu podvozků pro rozchod 600mm. Součástí práce je i představení provozovatele, řešerše doposud používaných podvozků a návrh zdokonalené varianty na základě zkušebního provozu. Byla zvolena koncepce Diamond, podvozky jsou vybaveny jednostupňovým vypružením. Návrh podvozku zohledňuje finanční a technologické možnosti provozovatele, navržena je brzděná i nebrzděná varianta. Podvozky byly konstruovány v programu SolidEdge, MKP analýzy byly provedeny v programu Siemens NX. U rámu podvozku je důsledně minimalizováno obrábění a celá konstrukce využívá maximální množství standardizovaných komponent. Výroba podvozků byla provedena sponzorsky, po konstrukčních úpravách vozové skříně byl zahájen zkušební provoz. Podvozky se v provozu osvědčily, jízdní komfort je nesrovnatelný s doposud provozovanými vozy, resp. podvozky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Podvozek, úzký rozchod, železnice, dvojkolí, Diamond, prototyp

ÚVOD

Bakalářská práce se věnuje návrhu, výrobě a následnému zkušebnímu provozu podvozků pro rozchod 600mm. Tento rozchod v Evropě využívají polní a průmyslové dráhy, oproti standardnímu rozchodu 1435mm zde vlaky dosahují nízkých rychlostí (do 20km/h), nápravové tlaky se pohybují okolo 3t, u lokomotiv až 7t. Železniční svršek i spodek je subtilnější, tudíž levnější. V současnosti jsou některé dráhy s tímto rozchodem provozovány jako muzejní.

Bakalářská práce je rozdělena na 5 částí – Rešerše, konstrukční návrh, výrobu prototypů, zkušební provoz a návrh zdokonalené varianty.

Rešerše prezentuje stávající, běžně provozované typy podvozků a poskytuje základní informace o jejich nedostatcích. Konstrukční návrh byl proveden s ohledem na finanční a technologické možnosti provozovatele, obrábění minimalizováno a celá konstrukce maximálně zjednodušena. Podvozek využívá maximální množství standardizovaných komponent. Návrhem vypružení byla pověřena specializovaná firma. Brzda špalíková. Výroba prototypů byla provedena externí firmou, časově a finančně nejnáročnější byla výroba dvojkolí. Vyrobena byla jeden pár nebrzděných podvozků. Zkušebnímu provozu předcházely mírné úpravy vozové skříně, po provedení počátečních úprav (instalace tlumičů) byl ověřovací provoz zahájen. Nabyté zkušenosti z výroby a zkušebnímu provozu byly využity při návrhu zdokonalené varianty. Plánován je též zápis podvozků jakožto užitého vzoru na Úřadu průmyslového vlastnictví.

PŘEDSTAVENÍ PROVOZOVATELE

Polní dráha o rozchodu 600mm Mladějov – Hřebeč se nachází poblíž města Svitavy, na moravské straně Hřebečského hřbetu. Původní účel průmyslové úzkokolejky byla přeprava lupku a z počátku i nekvalitního hnědého uhlí, z dolů podél trati a z dolů na Hřebči do šamotového závodu v Mladějově. Dráha velmi efektivně nahradila původní dopravu koňskými povozy. Nákladní vlaky tvořené až 30 dřevěnými, později ocelovými vozy VLO byly v provozu denně, po celý rok.

Všechny typy hnacích vozidel se podařilo zachovat - parní lokomotivy vedou od května do září každý víkend osobní výletní vlaky, motorové lokomotivy jsou používány na posun, případně pro vedení stavebních vlaků. Provoz výletních vlaků je v současnosti zajišťován dvounápravovými osobními vozy.

Spolek Mladějovská průmyslová dráha, z.s. (dále jen provozovatel) hledal cestu, jak zajistit významné rozšíření provozu díky postupné rekonstrukci trati do původní délky. Stavba dalších dvounápravových vozů byla vyhodnocena jako neekonomická a v provozu náročná na obsazení personálem. Východiskem je stavba podvozkových vozů o přibližně dvojnásobné přepravní kapacitě. U delších vozů je též variabilnější vnitřní prostor, lze vytvořit kombinované vozy např. s oddílem pro jízdní kola. Předpokládaná nižší hmotnost na sedadlo, spolu s jednodušší stavbou a použitím moderních technologických postupů zajistí nižší výrobní náklady. Zcela zásadním prvkem těchto vozů budou podvozky, jež se významně podílejí na výrobních nákladech a celkové spolehlivosti provozu.

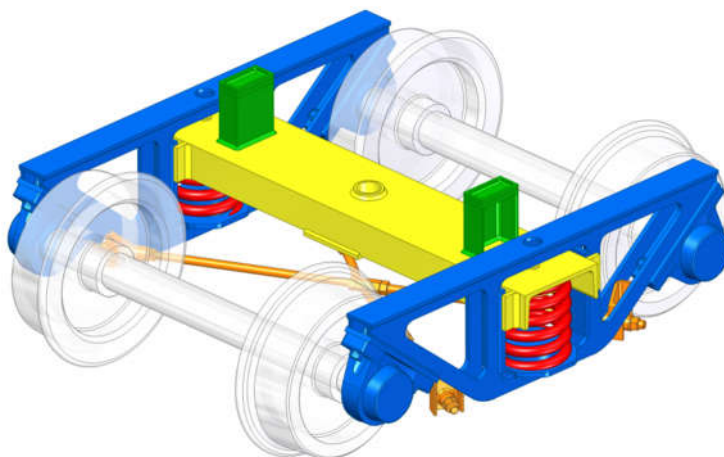


Obr. 1: Lokomotiva č.1 se soupravou osobních vozů

KONSTRUKČNÍ NÁVRH

Zvolena byla osvědčená koncepce Diamond Barber. Tato koncepce je v současnosti nejrozšířenějším podvozkem nákladních vozů, provozován je ve většině států s železničním systémem po celém světě vyjma Evropy.

Rám se skládá ze tří základních částí – jednoho příčnicku a dvou postranic. Jednotlivým konstrukčním celkům se věnují následující kapitoly, na obrázku níže jsou tyto pro větší přehlednost barevně odlišeny.



Obr. 2: Navržená konstrukce podvozku

Dvojkolí

Původní požadavek provozovatele byl použit nadbytečná dvojkolí s ložiskovými domky z nákladních vozů VLO. Bohužel tyto dvojkolí nebylo možné použít kvůli jejich špatnému stavu – většina náprav je ohnutá, ložiskové domky popraskané a kola mají ojeté jízdní plochy. Kola mají též malou šířku věnce, kvůli které může hrozit propadnutí podvozku do koleje. Proto bylo nutné dvojkolí navrhnout zcela nově.

Náprava je navržena jako soustružená z kruhové tyče válcované za tepla. Sedla pro uložení kol jsou navržena s dostatečným přesahem. Kvůli minimalizaci nákladů spojených s obráběním je náprava mezi koly neopracovaná. Vzhledem k nedostupnosti kruhové tyče požadovaného průměru a kvůli obtížné manipulaci s touto, jsou polotovary kol navrženy jako kruhové výpalky z plechu. Kola jsou monobloková, soustružená, jízdní plochy jsou na čisto soustružené až po nalisování na nápravu kvůli dodržení sousosty s ložisky. Jízdní obrys je kuželový.

Postranice (modrá)

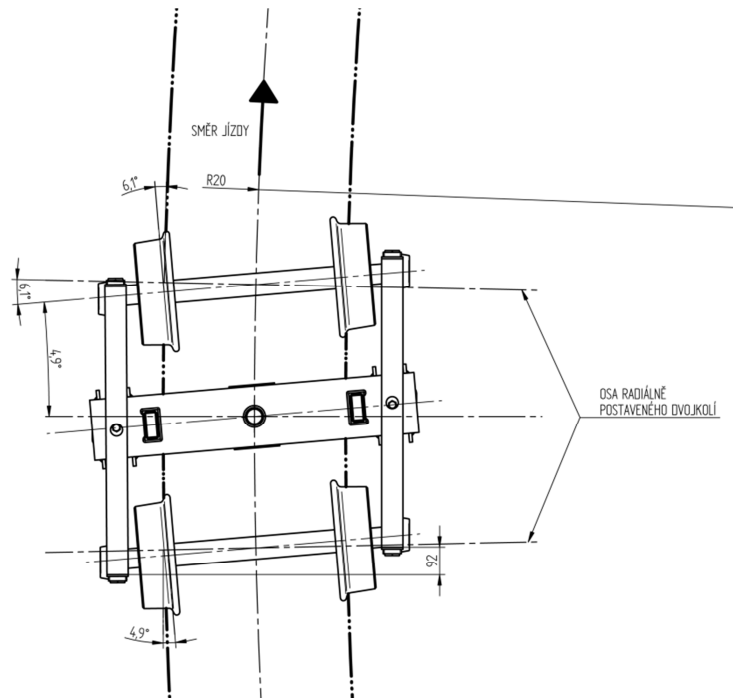
Konstrukce postranice je řešená jako svařenec z výpalků a normalizovaných polotovarů. Základní nosnou část tvoří dva výpalky lichoběžníkového tvaru, které přibližně vychází z tvaru používaného u ostatních podvozků koncepce Diamond. Tyto lichoběžníky jsou nahore propojeny pásnicí, která má uprostřed díru pro ořech pro dotažení šroubu vedení pružiny v příčnicku. Po stranách lichoběžníku jsou na každé straně přivařeny díly z ploché oceli s otvory pro šrouby, kterými je připevněna ložisková jednotka SKF SY. Šrouby jsou zajištěny podložkou Nordlock. Na spodní straně prostředního otvoru je přivařen osmiúhelníkový výpalek, na který dosedá pružina.

Příčník (žlutý)

Příčník je tvořen normalizovaným polotovarem – ocelovým nosníkem průřezu U. Uprostřed příčníku je přivařeno pouzdro pro otočný čep, které je tvořeno normalizovanou silnostěnnou bezešvou trubkou odpovídajícího průměru, kterou již není potřeba obrábět. Aby pouzdro nebylo uloženo letmo, je zespodu příčníku přivařena výztuha. Dále jsou na příčník přivařeny konzoly kluznic (viz dále). Na bokách příčníku jsou po montáži s postranicemi přivařeny nárazky příčného vypružení, ty jsou z normalizované ploché oceli. Nárazky nejsou stavitelné. Po montáži příčníku s postranicemi a přivařením nárazek je tento celek nerozebíratelný. Skříň vozu je na příčníku uložena pomocí otočného čepu a dvojice neodpružených kluznic. Konstrukce kluznic neumožňuje náklon skříně vůči příčníku, a proto tyto pohyby musí zajistit vypružení. Kluzná plocha je tvořena výpalkem – rámečkem, v jehož středu je mazivo pro mazání kluzné plochy. Mazivo je doplňováno úhlovou maznicí.

Vazba mezi postranicemi (oranžová)

Pro zvýšení komfortu jízdy, především při vjezdu do oblouků bez přechodnic, je vhodné podvozky vybavit příčným vypružením. Toho je u řešeného podvozku dosaženo příčnými vůlemi v uložení postranice a příčníku s využitím flexi-coil efektu. Při přeježdění nerovností, styků, případně při brzdění vznikají podélné rázy, které jsou, vzhledem k pouze otočné vazbě příčníku na rám vozu, tlumené též s využitím flexi-coil efektu s vůlemi v podélném směru. Uspořádání s vůlemi v uložení příčníku ve všech směrech však umožňuje pohyb postranic nezávisle vůči sobě. To vede k problémům při průjezdu obloukem, kdy dojde ke kosení podvozku - přesunutí vnitřní postranice vůči vnější.

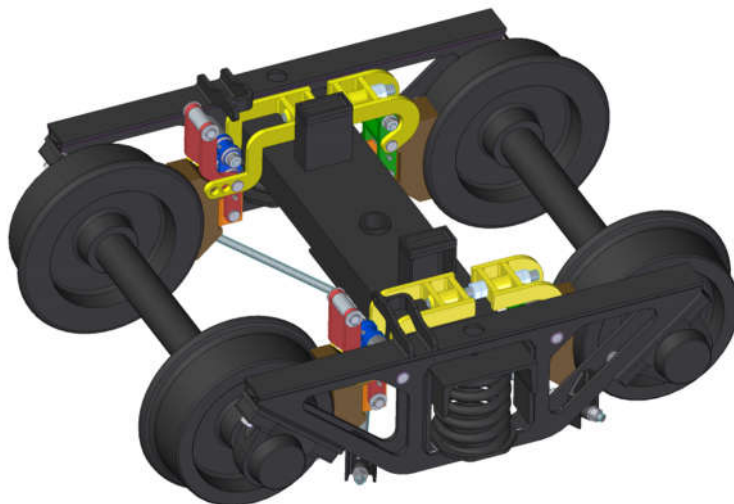


Obr. 3: Kosení podvozku v oblouku bez křížové vazby

Vazba je tvořena táhly, která jsou sešroubovaná z několika kusů závitových tyčí pomocí prodloužených matic. Táhla jsou v postranicích uložena v konzolách s přivařeným pouzdem. Konzoly jsou tvořeny kusem opracovaného válcovaného normalizovaného nosníku průřezu U, které jsou k postranici přivařeny. Pouzdro je soustružené z kruhové tyče. Táhla jsou vložena do pouzder, na obě čela pouzdra přiléhá silentblok z materiálu EPDM. Silentbloky umožní mírný pohyb táhel a tím i postranic.

Špalíková brzda

Navrženy byly 2 samostatné brzdové jednotky, jedna jednotka na pravé a druhá na levé straně podvozku. Mechanismus je zavěšen na 2 čepích vetknutých do postranice. Přenos sil na podvozek je řešen pomocí lanovodů, brzda je pouze ruční. Rozložení sil mezi obě strany podvozku zajišťuje těhlice umístěná na voze.



Obr. 4: Navržené řešení brzdy

Konstrukce mechanismu neobsahuje pouzdra čepů, závěska (modrá) a převodnice (zelená) jsou opatřeny maznicemi. Převodnice a spojnice převodnic jsou páleny z plechu, díry pro uložení čepů následně obrobeny a lícovány. Spojnice převodnic (žlutá) umožňuje skokovou změnu odlehlosti zdrží pomocí přesazení čepu do vzdálenějšího otvoru, jemnější seřízení odlehlosti je možné pomocí závitů. Rozpona mezi zdržemi není instalována kvůli vzájemnému relativnímu pohybu postranic, jenž by mohl způsobovat zvýšené opotřebení, případně vymačkání uložení čepů.

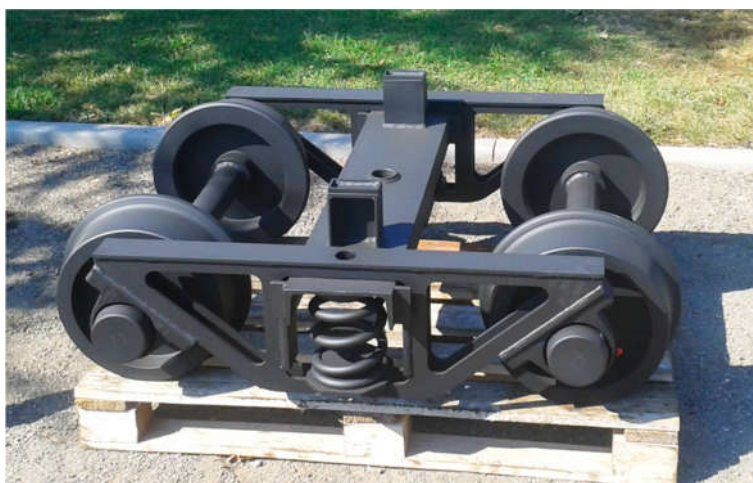
VÝROBA PROTOTYPŮ

Rozsah provozu po Mladějovské dráze neustále narůstá a pro obsluhu trati v celé původní délce už nebude postačovat jedna souprava osobních vozů. Druhou soupravu osobních vozů bude potřeba vyrobit zcela nově, jejich konstrukce byla řešena paralelně s podvozky, nicméně na výrobu alespoň rámu vozu nebyly finanční prostředky. Proto bylo rozhodnuto podvozky otestovat nejdříve pod nevyužitou skříň osobního vozu. Uložení této skříně na podvozku není ideální, ale dosavadní zkušenosti s provozem prokázaly funkčnost řešení.

I přes relativně nenáročnou výrobu rámu podvozku bylo nakonec rozhodnuto nevyrábět podvozky v dílnách provozovatele, výroba byla realizována externě u sponzora MPD. Ten disponuje kvalifikovaným personálem a všemi potřebnými stroji, především však kalící pecí, která umožňuje ohřev kol pro nalisování na nápravu.

Svařování rámu bylo bezproblémové a rychlé. Většina otvorů byla již vypálena do plechu, vrtané díry mají malý průměr. Výrobce zvolil svařovací metodu MAG.

Časově a finančně nejnáročnější byla výroba dvojkolí. S polotovarem kola je obtížná manipulace daná velkou hmotností a kruhovitým tvarem bez otvoru, za který by bylo možné disk zavěsit. Problem byl též u upnutí do soustruhu, po roztažení čelistí sklíčidla byl překročen maximální oběžný průměr, bylo proto nutné část operací přesunout na karusel, jímž však výrobce nedisponuje. Dvojkolí byla lisována za tepla, ohřev kol byl proveden v kalící peci.



Obr. 5: Vyrobený prototyp

ZKUŠEBNÍ PROVOZ

Aby mohl být zahájen zkušební provoz, bylo nejprve nutné upravit skříň vozu, jelikož pod touto skříní byly původně zavázány podvozky se spřáhly na čelnících. Provozovatel požadoval, aby změny provedené na rámu byly vratné, protože skříň vozu vyžaduje rozsáhlejší rekonstrukci a pro pravidelný provoz je vhodné mít spřahovací ústrojí vypružené. Spřáhla jsou nevypružená, svařovaná, jednoduché konstrukce z profilů U a I.



Obr. 6: Skříň se zavázanými podvozky

Ihned po zahájení zkušebního provozu se ukázala nutnost tlumit vypružení, neboť šroubovitě pružiny nemají schopnost se samy utlumit. Při jízdě se tento problém neprojevoval, s výjimkou přejíždění výhybek do odbočky, kdy byla skříň nabuzena značným příčným rázem a došlo k rozkolébání. Hlavním projevem netlumeného vypružení bylo „poskakování“ vozu při simulovaném nástupu cestujících s velmi dlouhou dobou utlumení. Celou skříň lze snadno rozkolébat kolem podélné osy, to bylo vyhodnoceno jako potenciálně nebezpečné, neboť při kontrolovaném rozkolébání skříně bylo dosaženo takových výchylek, že došlo až k odlehčení kol. Především mladší cestující by mohli cíleně vagon rozhoupávat, a pokud by došlo k nadlehčení kol při jízdě, mohlo by hrozit vykolejení. Kolébání je také potenciálně nebezpečné pro posunovače, vozy jsou spřahovány ručně a během spřahování by mohlo dojít k úrazu.

Instalace tlumičů byla tedy nezbytná, po průzkumu trhu byly jako nejlepší řešení vyhodnoceny kapalinové tlumiče. Velkým problémem však bylo nalezení vhodného tlumiče. Vhodný typ tlumiče byl nalezen katalogu tlumičů vypružení kabiny nákladních automobilů. Tyto tlumiče mají příznivé rozměry, jež výrazným způsobem nepřekračují obrys podvozku a mají zdvih odpovídající navrženému vypružení.



Obr. 7: Podvozek s tlumiči

Zkušební provoz probíhá, po provedení úprav, bez problémů a navržená konstrukce prokázala svou funkčnost ve všech směrech. Hlavním přínosem jsou velmi nízké jízdní odpory dané použitím kvalitních ložisek a otočnými podvozky s relativně malým rozvorem.

Jízdní komfort je nesrovnatelný s dvounápravovými vozy, velmi se osvědčilo příčné vypružení, kdy směrové zlomy koleje nejsou ve voze znatelné. Vůz, spolu s podvozky, se při vyšších rychlostech chová stabilně, tlumiče nedovolují

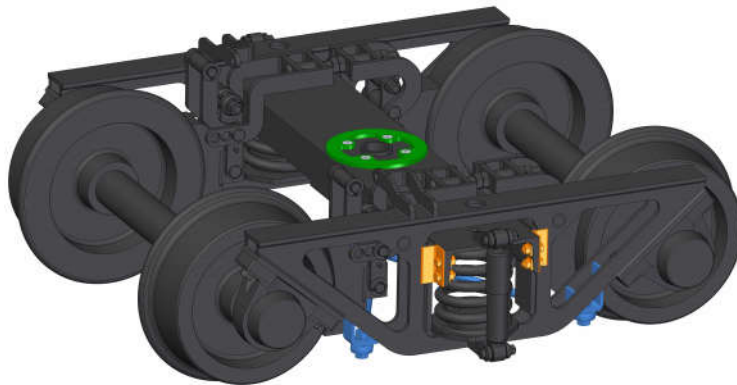
nežádoucí rozkolébání, ke kterému jsou dvounápravové vozy náchylné. Určitou nevýhodou jsou nevypružená spřáhla, nárazy na sousední vozy jsou silné a částečně snižují komfort.

NÁVRH ZDOKONALENÉ VARIANTY

V současném provedení je podvozek nerozebíratelný, to může působit těžkosti při případných opravách, navíc příčné vůle nelze později vymezit. Proto bylo navrženo nové provedení nárázek. Nově jsou nárázky (oranžové) tvořeny normalizovaným rovnoramenným profilem L a k příčníku jsou šroubovány. Umístěny jsou pouze z vnější strany, uvnitř podvozku, zvláště u brzděné varianty, je nedostatek místa a případné seřízení by bylo velmi nesnadné.

Úpravy se též týkají mezipostranicové vazby (modře). Navržené řešení s výhodou využívá kloubových hlavice, zkroucení podvozku tedy není nutné realizovat pomocí deformací. Kloubové hlavice jsou uloženy ve stejných místech, jako u původní vazby, ale na nově navržených konzolách. Ty jsou tvořeny ohnutým plechem, v jehož středu je otvor pro šroub. Kloubové hlavice jsou uchyceny šroubem a s protější stranou spojeny táhlem.

U zcela nově konstruovaných vozů lze uvažovat i s jiným uložením skříně. Konstrukce nového vozu byla řešena paralelně s návrhem podvozků a jako nejvýhodnější řešení uložení skříně se jeví plochá torna (zeleně). Rám vozu je páteřové konstrukce, páteř tvoří profil čtvercového průřezu. Plochá torna je řešena pomocí obrobku z materiálu TIVAR TECH, na které dosedá shodné ocelové mezikruží pevně spojené s rámem vozu.



Obr. 8: Optimalizovaná varianta

ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Cílem práce bylo navrhnout brzděnou i nebrzděnou variantu běžného úzkorozchodného podvozku. Hlavní motivací pro vývoj nového podvozku byla snaha provozovatele, Mladějovské průmyslové dráhy, o rozšíření provozu v následujících letech. Podvozek vychází z osvědčené koncepce Diamond. Hlavní důraz při návrhu byl kladen na maximální jednoduchost, nízký počet součástí, vysoký podíl normalizovaných součástí, minimalizované obrábění a celkovou ekonomičnost řešení. Zároveň byl též důraz kladen na robustnost a bezúdržbovost – důležité parametry v železničním provozu. Brzda je provedena jako špalíková, zavěšená na postranici. Každá strana podvozku je ovládaná nezávisle prostřednictvím lanovodu z vozu. Brzda je pouze ruční. Po dokončení návrhu bylo přistoupeno k výrobě prototypů, na kterých byla správnost návrhu prakticky ověřena. Po provedení prvotních konstrukčních úprav (instalace tlumičů) byl zahájen zkušební provoz s pozitivními výsledky. Na základě zkušeností z výroby a zkušebního provozu prototypů byly navrženy další zlepšení. Některá nová řešení byla provedena variantně, výběr záleží na provozovateli a především na jeho finančních možnostech.

PODĚKOVÁNÍ

Zvláštní poděkování patří kolektivu dobrovolníků Mladějovské průmyslové dráhy, bez jejichž společného úsilí by nebylo kde tento náročný projekt realizovat. Z kolektivu dobrovolníků patří zvláštní poděkování Jiřímu Hurtovi a Vítu Opočenskému za nezištnou pomoc při výrobě a financování prototypů.

LITERATURA

1. HELLER, P., DOSTÁL, J.: *Kolejová vozidla I.* Plzeň: ZČU, 2007
2. HELLER, P., DOSTÁL, J.: *Kolejová vozidla II.* Plzeň: ZČU, 2009