

Jan Plomer¹

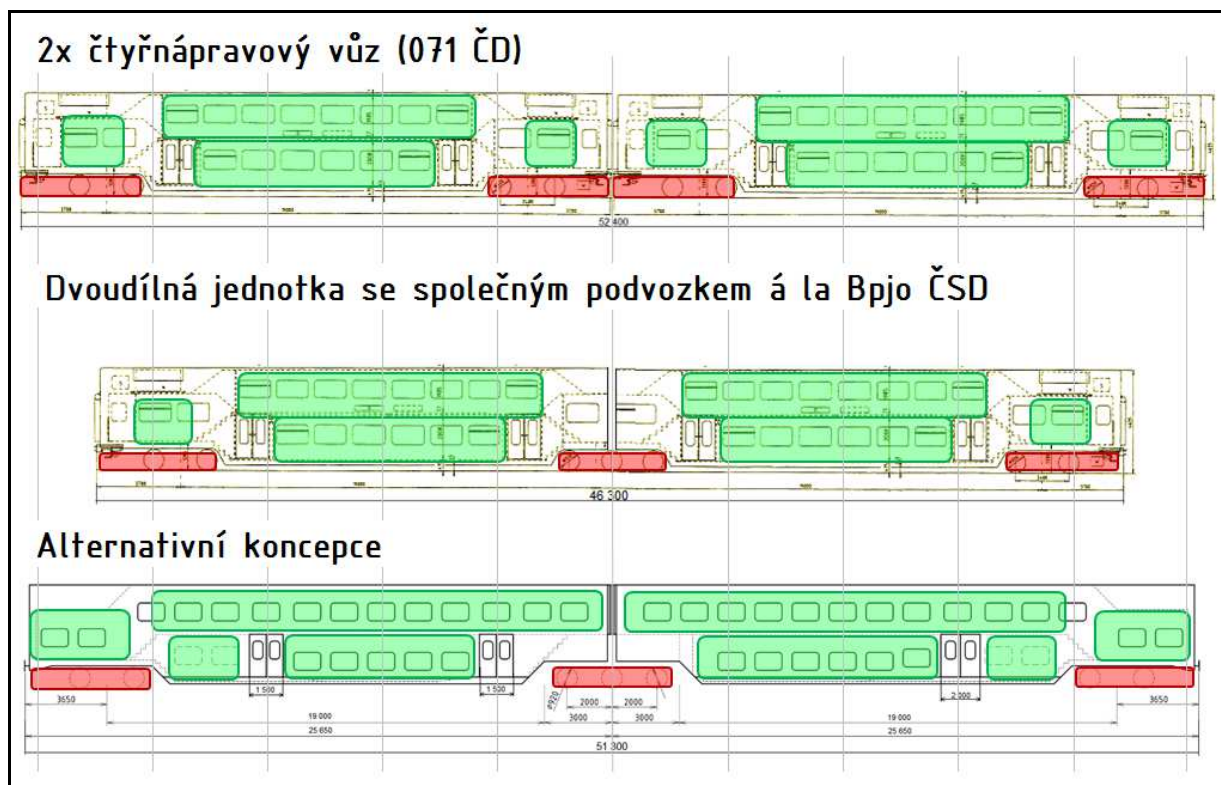
Alternativní koncepce článkových osobních vozidel

Klíčová slova: železniční vozidlo, jednopodlažní jednotka, dvoupodlažní jednotka, osobní vůz, pojezd, Jakobsův podvozek, obrys pro konstrukci, rozšíření obrysu, rozpojitelnost soupravy

Alternativní koncepce

Úvod

Podíváme-li se na soupravu sestavenou z dvoupodlažních vozů, můžeme vidět, že podstatnou část délky nelze využít pro uspořádání dvou podlaží nad sebou. To se týká především oblastí nad podvozky. Zlepšení využitelnosti objemu je důvodem vzniku alternativní koncepce. Hlavní prvek alternativní koncepce, díky kterému se podařilo docílit lepšího využití objemu, je společný podvozek, nahrazující 2 standardní. Srovnání využití objemu páru čtyřnápravových vozů, dvoučlánkové jednotky se společným třínápravovým podvozkem a dvoučlánkové jednotky alternativní koncepce lze vidět na obr. 1.



Obr. 1 - Porovnání koncepcí patrových vozů

¹ Jan Plomer, Ing., 1990, je absolventem fakulty strojní ČVUT v Praze, zaměření kolejová vozidla. V současné době působí jako projektant ve ŠKODA Transportation a. s.

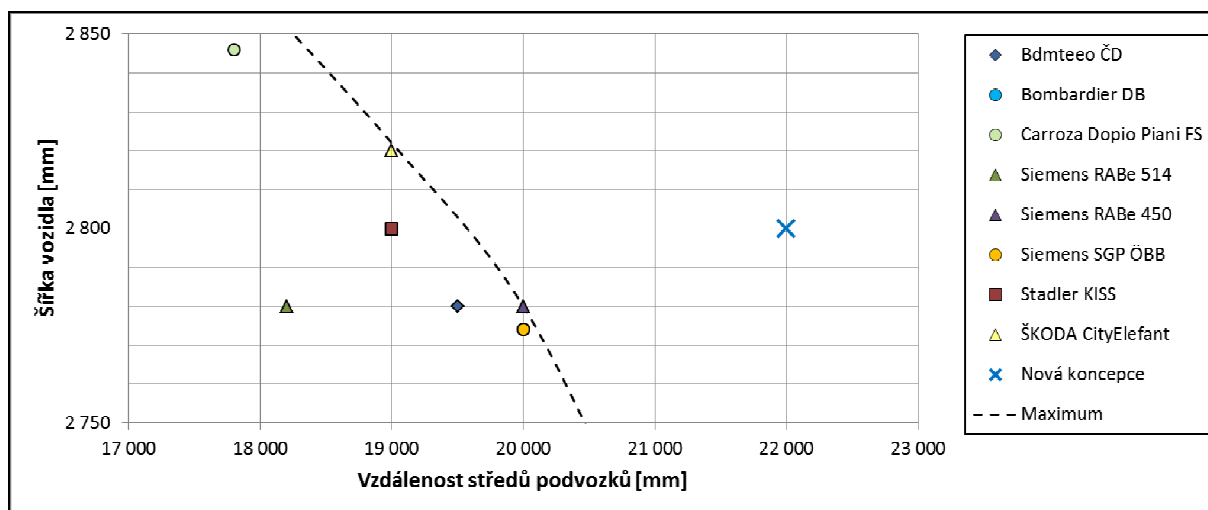
Porovnání koncepcí

Standardní čtyřnápravové vozy se dvěma podvozky mohou díky převislým předstávkám využívat při průjezdu obloukem dovolený přesah obrysu vně koleje. Nevýhodou je, že prostor nad podvozkem a předstávek je využitelný pouze pro jedno podlaží, a délka, ve které lze použít dvě podlaží nad sebou, klesá. Tím pádem klesá i přidaná hodnota oproti jednopodlažním vozidlům a celková efektivita využití prostoru vozidla. Proto je trendem maximalizovat vzdálenost podvozků. Pokud je otočný čep ve středu podvozku, není vzhledem k závislosti šířky vozidla na vzdálenosti otočných čepů možné zvyšovat vzdálenost podvozků. Maximální hodnota vzdálenosti otočných čepů na evropských vozidlech je 20 000 mm. Ta omezuje šířku vozidla na hodnotu okolo 2 780 mm, která se blíží minimu pro uspořádání sedadel 2+2. Délka využitelná pro dvě podlaží u vozů se vzdáleností otočných čepů 20 000 mm tvoří přesto pouze 59% délky vozové skříně. U vozů se vzdáleností ot. čepů 19 000, která umožňuje šířku vozidla alespoň 2 800 mm je tento podíl pouze **56%**.

Zvýšení poměru dvoupodlažní části délky skříně částečně řeší použití Jakobsova podvozku, díky kterému má článkové vozidlo jednopodlažní předstávky pouze na koncích. Jednopodlažní části nad podvozky zůstávají zachovány. Společný podvozek musí být z důvodu únosnosti trati třínápravový. Oba články mají na společném podvozku společný otočný čep, který se nachází v jeho středu. Podíl zastoupení dvoupodlažní části délky skříně je u dvoučlánekového vozidla se vzdáleností otočných čepů 19 000 mm a šířkou 2 800 mm **63%**.

Vozidlo alternativní koncepce vychází z dvoučlánekového vozidla s Jakobsovým podvozkem. Inovací je podélné vyložení otočných čepů společného podvozku, které umožňuje zvýšení vzdáleností podvozků a tím i délky vozových skříní. V návrhu vozidla byla hodnota vyložení otočných čepů od středu podvozku zvolena 3 000 mm. Vzdálenost otočných čepů 19 000 mm a šířka 2 800 byla zachována. Toto vozidlo má podíl dvoupodlažní části délky skříně **67%**.

Přehled závislosti šířky vybraných čtyřnápravových vozů na vzdálenosti středů podvozků je znázorněn na obr. 2.



Obr. 2 - Přehled závislosti šířky vybraných vozidel na vzdálenosti středů podvozků.

Výhody dvoučlánekového uspořádání

Při zohlednění výhod samostatných vozů a výhod jednotek se společnými podvozky, jak po stránce provozní, technické, tak i ekonomické, vychází, dle mého soudu, jako nejlepší řešení vytvoření nedělitelných dvoučlánekových vozů, využívajících společný podvozek. Tato dvojčata budou při tvorbě souprav, ať trakčních či netrakčních, ucelených či neucelených tvořit jakýsi základní stavební kámen. Tuto myšlenku podpírá v poslední době i skutečnost, že významní výrobci jako Siemens nebo Stadler dodávají podobná vozidla: Siemens Desiro HC se prezentuje tím, že je to vlastně jednopodlažní jednotka s tou změnou, že mezi koncovými motorovými vozy veze „High Capacity“ modul, který představují 2 patrové vozy. Stadler Flirt se v novějších variantách odchyluje od koncepce jednotky se všemi podvozky společnými ke koncepci, kdy je vlak rozdělen do kratších částí (dvoj- nebo třídílných), které mezi sebou nemají společný podvozek.

Uspořádání dvoučlánekového vozu má několik zřejmých výhod:

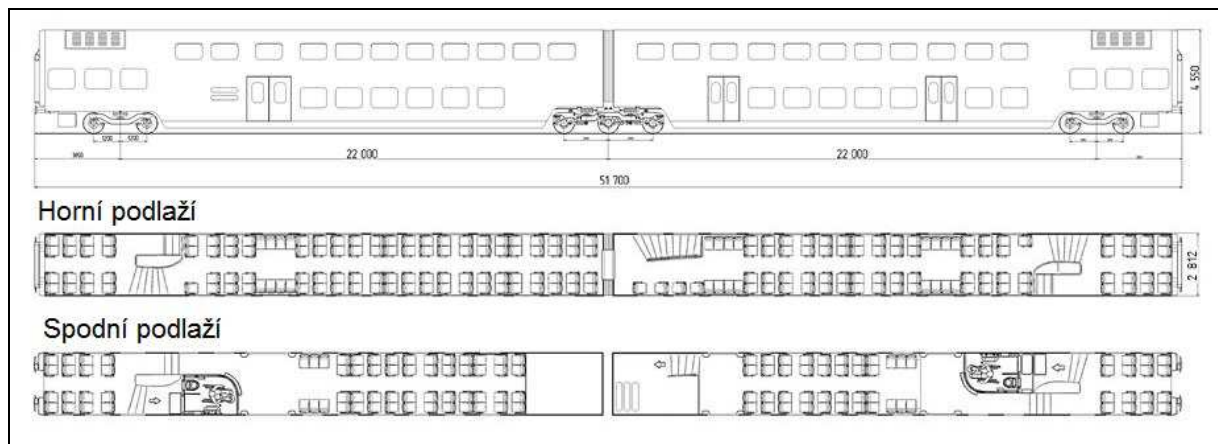
1. **„Výhodnější počet komponent“** – Oproti čtyřnápravovým vozům. Pokud se má souprava sestávat z více stejných čtyřnápravových vozů, musí každý vůz mít celočíselný počet dveří, schodišť, víceúčelových prostorů, toalet (běžných či TSI-PRM), klimatizačních jednotek, centrálních zdrojů energie, baterií, elektrických rozvaděčů, pneumatické výzbroje, stanovišť vlakového rozhlasu, orientačních antén pro nevidomé, prodejních automatů a dalších komponent. Dvojče může mít např. 3 páry dveří, 3 schodiště, 1 prodejní automat jízdenek apod. Některé komponenty mohou být společné pro oba články dvojčete a některé naopak mohou tvořit vzájemně redundantní dvojici.
2. **„Průchozí podlaží“** – Oproti čtyřnápravovým vozům. Mezi články dvojčete není nutnost zřizovat přechod ve standardní výšce, ale může být v úrovni horního podlaží.
3. **„Méně mrtvého prostoru“** – Oproti čtyřnápravovým vozům. Prostor pro spřáhovací a narážecí ústrojí může být pouze na vnějších čelech dvojčete.
4. **„Dělitelnost“** – Oproti uceleným jednotkám se společnými podvozky. Dělitelnost umožňuje lepší variabilitu při skladbě souprav a lepší manipulaci při servisních pracích.

Popis navrženého vozidla alternativní koncepce

Vozidlo je navrženo tak, aby využívalo všech výše jmenovaných výhod. Vozidlo je určeno pro provoz v příměstské dopravě se střední vzdáleností zastávek 5-10 km. Na každé straně jsou 3 dvoukřídle dveře. Dveře prvního článku (na obr. 3 levého) článku jsou tříproudé se šířkou 2 000 mm. Dveře druhého článku jsou dvouproudé se šířkou 1 400 mm. Oba články mají na vnějších čelech standardní rozhraní s nárazníky a šroubovkou a přechod s návalky pro možnost řazení do klasických souprav. Přechod mezi články je v úrovni horního podlaží. Každý článek má v blízkosti nástupního prostoru víceúčelový prostor pro přepravu jízdních kol či kočárků a toaletu uzpůsobenou pro handicapované cestující. Vozidlo je charakterizováno následujícími parametry:

Tab. 1 - Parametry navrženého vozidla

Maximální rychlost	160	km/h
Hmotnost prázdného vozidla	79 600	Kg
Počet sedadel pevných + sklopných	274 + 12	sedadel
Maximální nápravové zatížení	174	kN
Vzdálenost otočných čepů	19 000	mm
Vzdálenost středů podvozků	22 000	mm
Délka přes nárazníky	51 700	mm
Šířka vozové skříně	2 812	mm
Výška hrany nástupního prostoru	550	mm
Počet WC odpovídající TSI-PRM	2	


Obr. 3 - Náčrt uspořádání vozidla

Obr. 4 - Celkový pohled na dvoučlankový vůz.

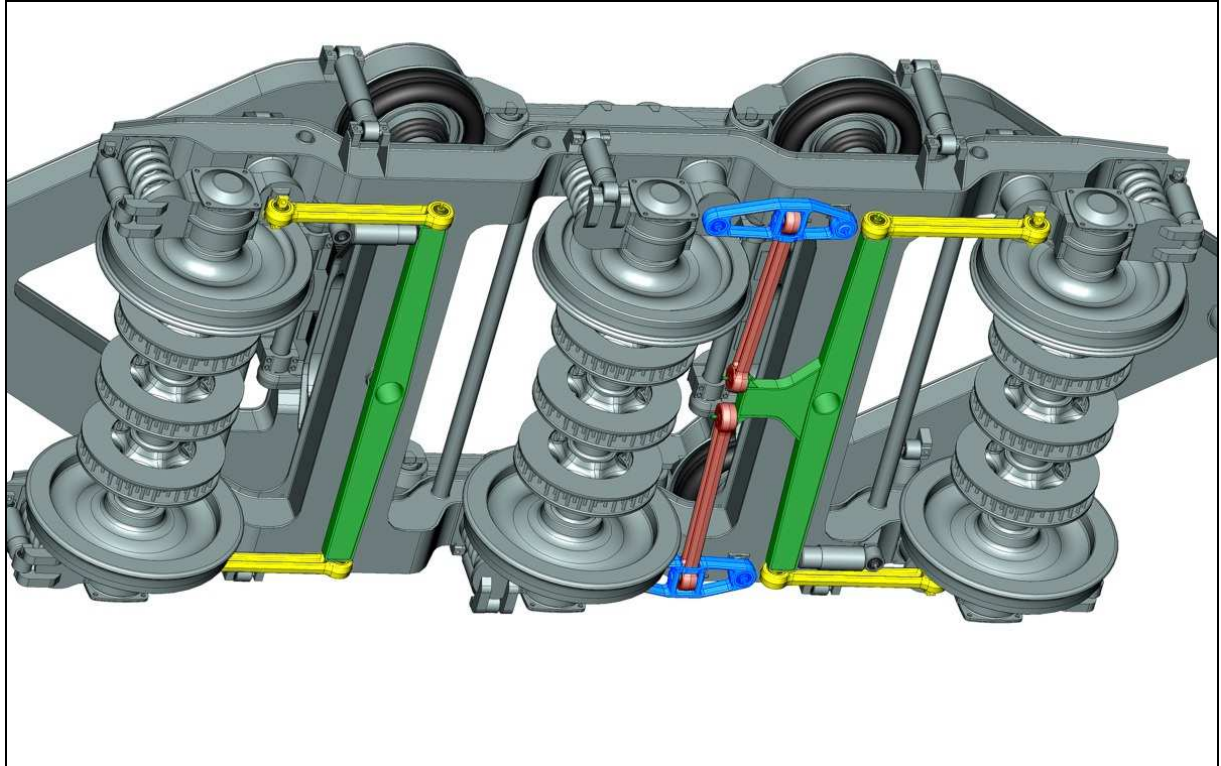
Pro ověření proveditelnosti dvoučlankového dvoupodlažního vozidla se společným podvozkem s předsunutými otočnými čepy vznikl v rámci mého studia na fakultě strojní ČVUT v Praze jeho návrh a studie proveditelnosti zaměřující se především na jeho chodové vlastnosti a obrys pro jeho konstrukci.

Popis pojezdu navrženého vozidla alternativní koncepce

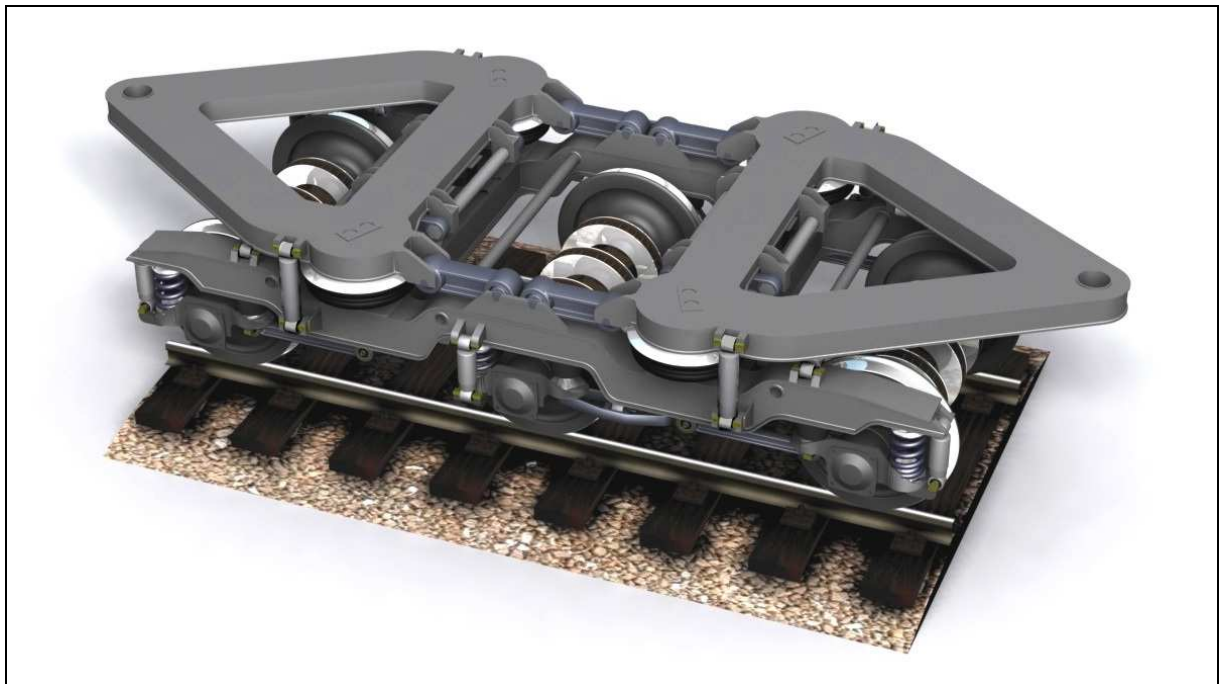
Pojezd sestává ze dvou "standardních" podvozků krajních a jednoho podvozku společného, pro toto vozidlo přímo zkonstruovaného.

Krajní podvozky jsou obvyklé konstrukce podle dnešních standardů. V konkrétním návrhu pro studii proveditelnosti mají rozvor 2 400 mm. Primární vypružení je provedeno pomocí ocelových vinutých pružin a vedení dvojkolí je realizováno použitím kyvných ramen. Sekundární vypružení je realizováno jako pneumatické, doplněné torzním stabilizátorem. Tlumení je hydraulické a působí na svislé pohyby primárního vypružení a svislé, příčné a vrtivé pohyby sekundárního vypružení. Přenos podélných sil je prostřednictvím lemniskátového mechanismu pod hlavním příčnickem.

Střední podvozek je třínápravový s celkovým rozvorem 4 000 mm. Primární vypružení je navrženo rozdílně pro krajní nápravy a střední nápravu. Primární vypružení krajních náprav je navrženo tak, aby byla jeho příčná tuhost relativně vysoká a podélná naopak relativně nízká. Tuhost primárního vypružení střední nápravy je nízká v obou horizontálních směrech. Vedení krajních náprav je realizováno pomocí ojnicek a vahadla, otočně usazeného do hlavního příčnicku rámu podvozku. Vahadla obou krajních náprav jsou spojena křížovou vazbou. Na jednom z vahadel je rovněž vytvořeno rameno pro převod pohybu mechanismu na střední nápravu. Tento převod je volen tak, aby dvojkolí zaujímala ideální radiální polohu v oblouku. Pohyb obou těchto vahadel je tlumen hydraulickými tlumiči. Uspořádání tohoto mechanismu je znázorněno na Obr. 5. Obě sekundární vypružení jsou stejně jako u krajních podvozků vzduchová, doplněná torzním stabilizátorem. Na sekundárním vypružení jsou usazeny trojúhelníkové „delta“ rámy. Jejich pohyb vůči rámu podvozku je omezen podélnými ojnicemi, které dohromady vytvářejí paralelogram. Na delta rámech jsou v oblasti nad sekundárním vypružením kluznice, které zajišťují nesení skříně a tlumení vrtivých pohybů podvozku. Přenos horizontálních sil se děje na třetím vrcholu trojúhelníka, který je oproti podvozku podélně vyložen. Tam se na delta rámu nachází válcový otvor, do něž zapadá otočný čep skříně. Primární vypružení je tlumeno hydraulickými tlumiči. Sekundární vypružení je tlumeno ve svislém a příčném směru. Vyobrazení podvozku je na obr. 6.



Obr. 5 - Mechanismus radiálního stavění dvojkolí



Obr. 6 - Pohled na třínápravový podvozek

Studie proveditelnosti

Hlavním tématem studie proveditelnosti nové koncepce pojezdu bylo ověření jízdní bezpečnosti a jízdních charakteristik. Pro ověření těchto vlastností bylo využito programu SIMPACK ®. Tento program umožňuje modelovat celé vozidlo jako soustavu hmotných těles a pružných i nepružných vazeb. Výhodou tohoto programu je propracovaná definice kontaktu kolo-kolejnice, včetně definice nerovností koleje.

S modelem byl proveden soubor simulací:

1. Simulace pro posouzení bezpečnosti proti vykolejení podle ČSN EN 14 363 – metoda 2
2. Simulace výkmitové zkoušky („shoz z klínů“) pro zjištění vlastních frekvencí hlavních tvarů kmitání.
3. Simulace jízdně-technických zkoušek ve smyslu ČSN EN 14 363.

Při těchto simulacích byl rovněž posuzován styk dvojkolí-kolej z hlediska vlivu na opotřebení obou těchto členů. Posuzovanou veličinou byl ztrátový výkon.

Závěr studie proveditelnosti

Studie proveditelnosti prokázala, že navržený pojezd splňuje podmínku bezpečnosti proti vykolejení a vykazuje jízdní charakteristiky srovnatelné se čtyřnápravovými vozy, potvrdila možnost použití této koncepce pojezdu a otevřela tak možnost dalšího vývoje koncepce pojezdu s předsunutými otočnými čepy.

Možnost aplikace společného podvozku s předsunutými čepy

Studie proveditelnosti díky kladnému výsledku umožnila další rozvoj myšlenky uspořádání pojezdu vozidel se společnými podvozky s předsunutými čepy. Představená koncepce pojezdu je adaptovatelná na další typy vozidel.

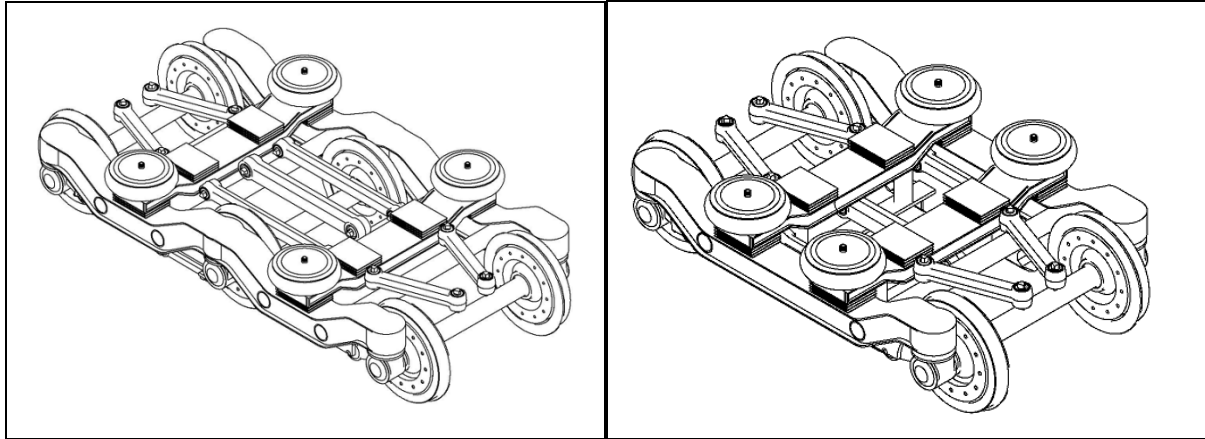
Dvoupodlažní vozidla

Hlavní přínos použití společného podvozku s předsunutými čepy je aplikovatelný pouze na dvoučlankový vůz, kde díky nesymetrii jednotlivých článků je rozložení zatížení podvozků přibližně v poměru počtu jejich náprav. Uspořádání jednotlivých vozových skříní je přizpůsobitelné požadavkům zákazníka. Jedná se například o počet a umístění dveří, včetně volby výšky hrany nástupního prostoru, počet a umístění schodišť, toalet apod. Uspořádání představeného vozu alternativní koncepce není v tomto určující, je pouze příkladem.

Mutace podvozku

Protože při návrhu podvozku pro dvoupodlažní vozidlo nebyl kladen nárok na stavební výšku podvozku a navržený podvozek není vyhovující pro vozidlo

jednopodlažní, vznikla odvozená verze třínápravového podvozku. Tato verze umožňuje vozidlu výšku uličky nad podvozkem ve výšce 850 mm, při výšce bočních podest 250 mm. Od této verze byla odvozena ještě dvounápravová varianta. Hlavní rysy těchto odvozených podvozků zřetelné na obr. 7.



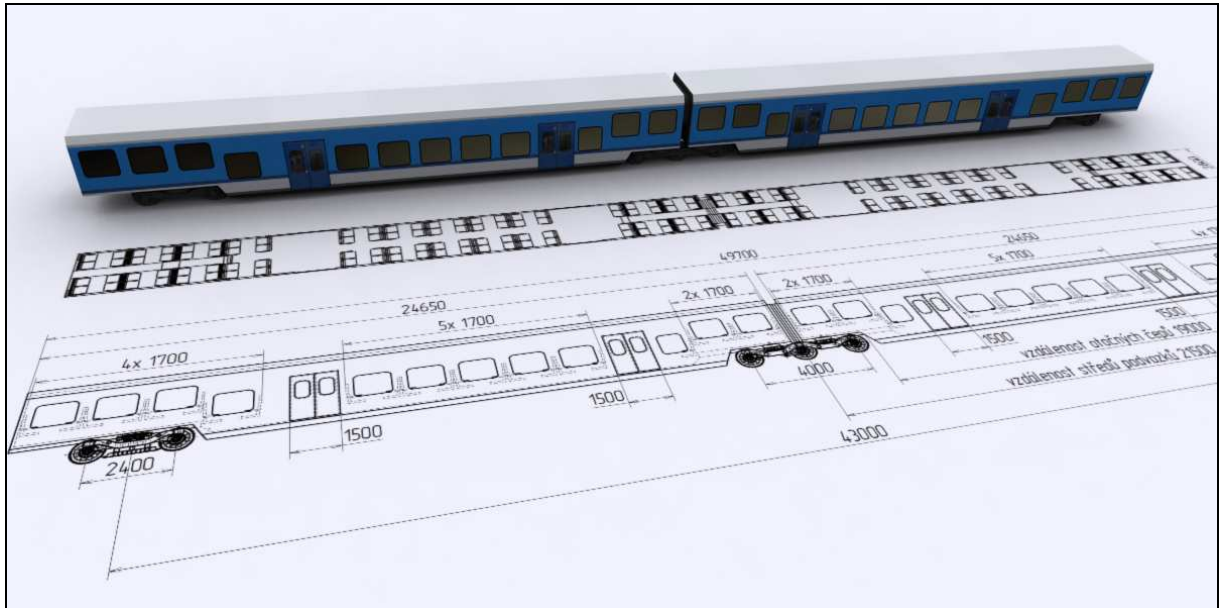
Obr. 7 - Dvounápravová a třínápravová varianta podvozku s předsunutými otočnými čepy.

Jednopodlažní vozidla

Možnost aplikace společného podvozku s předsunutými čepy je pestřejší díky menší měrné hmotnosti skříně jednopodlažního vozidla. Základní varianty použití podvozku s předsunutými otočnými čepy jsou 3 následující:

Jednopodlažní dvoučlankový vůz se společným třínápravovým podvozkem

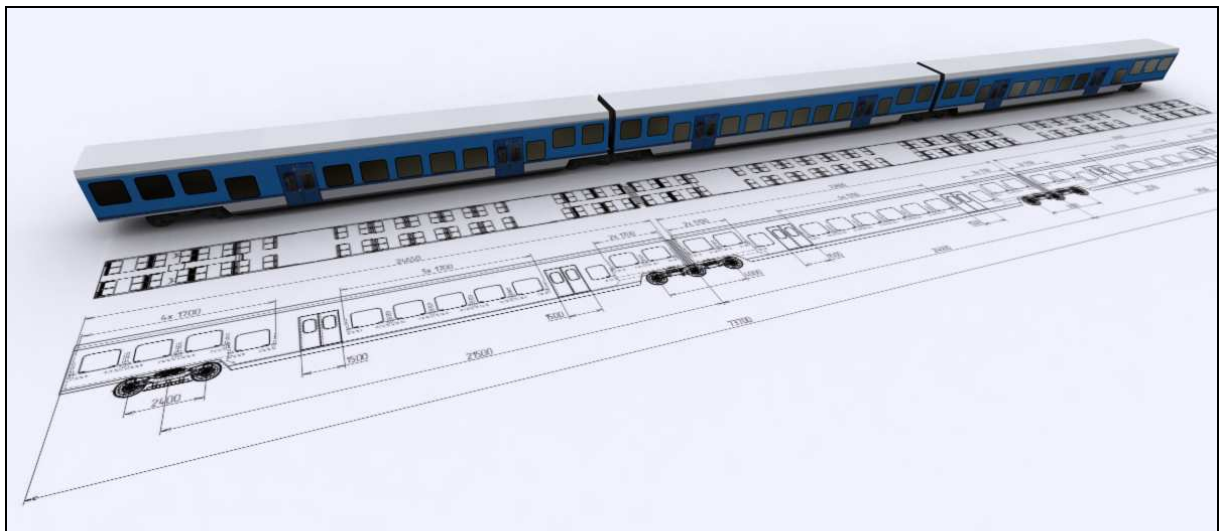
Koncepce pojezdu tohoto vozu je téměř shodná s představeným návrhem dvoupodlažního vozu. Tento vůz se vyznačuje vzdáleností otočných čepů 19 000 mm, vzdáleností středů podvozků 21 500 mm a šířkou vozové skříně 2 825 mm.



Obr. 8 - Jednopodlažní dvoučlánkový vůz se společným třínápravovým podvozkem.

Jednopodlažní tříčlánkový vůz se společnými třínápravovými podvozky

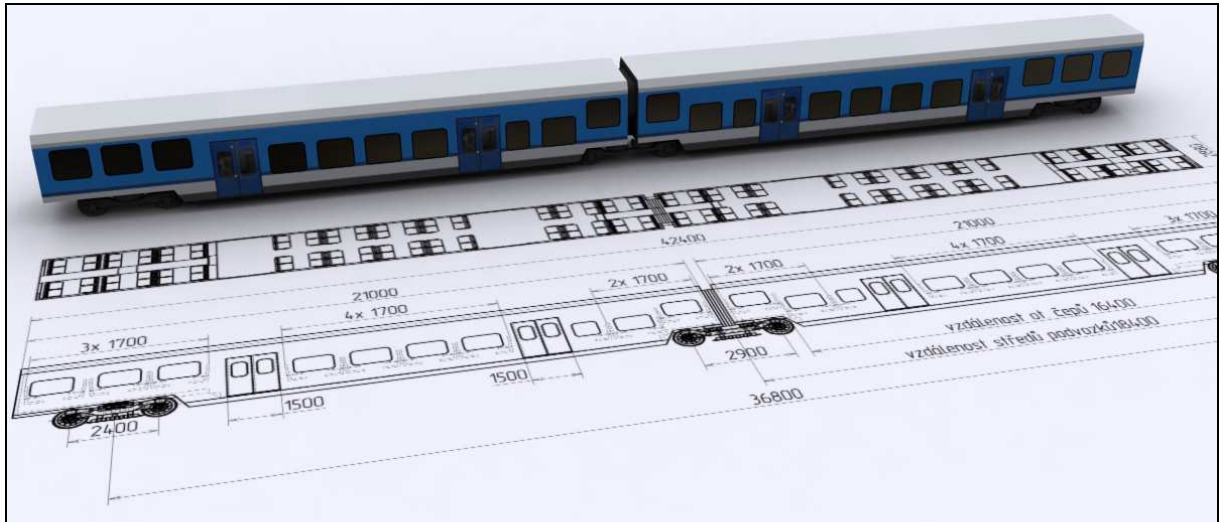
Tento vůz je tříčlánkovou verzí předchozího a jeho základní rozměry jsou shodné, vzdálenost otočných čepů středního článku je rovněž 19 000 mm a vzdálenost společných podvozků je 24 000 mm.



Obr. 9 - Jednopodlažní tříčlánkový vůz se společnými třínápravovými podvozky

Jednopodlažní dvoučlánkový vůz se společným dvounápravovým podvozkem

Tento vůz využívá dvounápravovou variantu společného podvozku. Z toho důvodu jsou vozové skříně kratší. Vzdálenost otočných čepů je v tomto případě 16 400 mm a vzdálenost středů podvozků 18 400. Šířka vozové skříně je 2 880 mm.



Obr. 10 - Jednopodlažní dvoučlánekový vůz se společným dvounápravovým podvozkem

Závěr

Navržená alternativní koncepce článkových osobních vozidel skýtá pro potencionální výrobce možnost být ve výběrových řízeních o krok napřed před konkurencí a to v těch nejdůležitějších parametrech, které lze při konzervativním přístupu vylepšovat pouze na úkor jiných parametrů. Především se jedná o zvýšení užité plochy při snížení celkové hmotnosti a tím snížení ukazatele hmotnosti na sedadlo. U navrženého třínápravového podvozku byl kvantifikován ztrátový výkon ve styku dvojkolí - kolej, který je na úrovni 25% dvou standardních dvounápravových podvozků pro rychlosti 160 km/h, které nahrazuje.

Praha, září 2015

Lektorovali: Ing. Petr Sporer
České dráhy, a.s.

Ing. Tomáš Heptner
VÚKV, a.s.