

Martin Pittermann – Miroslav Byrtus – Robert Nedvěd – Zdeněk Peroutka – Pavel Drábek

Koncepce trakčních podvozků tramvají – konkrétní příklady světových výrobců

Technická zpráva

Pracovní balíček:

11 – Elektrické části pohonů

Rok řešení:

2013



Pracoviště: RICE

Výzkumná zpráva č.: 22190 - 057 – 2013

Koncepce trakčních podvozků tramvají - konkrétní příklady světových výrobců

Druh úkolu: Vědecko-výzkumný

Řešitelé: Pittermann Martin, Byrtus Miroslav,
Nedvěd Robert, Zdeněk Peroutka, Pavel Drábek

Vedoucí úkolu: Peroutka Zdeněk

Počet stran: 68

Datum vydání: říjen 2013

Revize: 1

Tato zpráva vznikla s podporou RICE CZ.1.05/2.1.00/03.0094

a CKDV TE01020038.

Anotace

Předmětem zprávy je poskytnutí základního přehledu o možnostech řešení pojezdové části moderních kolejových vozidel MHD. Důraz je zde kladen zejména na vozidla typu „nízkopodlažní tramvaj“ a na perspektivní možnosti řešení pohonné části. Zpráva jednak názorně shrnuje požadavky kladené na trakční pohon a to jak z hlediska požadovaných vlastností (požadovaný moment, požadavky na řízení) tak i z hlediska prostorových a hmotnostních rozměrů využitelných pro vlastní trakční motor. Tyto aspekty jsou demonstrovány na konkrétních příkladech vozidel od světových výrobců.

Obsah

Obecně používané symboly.....	3
Vybraní výrobci vozidel a komponent (v textu použité označení).....	3
1 ÚVOD	4
2 TRAMVAJOVÁ VOZIDLA Z HLEDISKA „NÍZKOPODLAŽNOSTI“	6
2.1 Vozidla s vysoko umístěnou podlahou.....	7
2.2 Vozidla částečně nízkopodlažní s klasickými podvozky	8
2.3 Vozidla částečně nízkopodlažní se speciálními podvozky.....	9
2.4 Vozidla plně nízkopodlažní.....	10
2.5 Vozidla s ultra-nízkou podlahou	10
2.6 Vozidla nízkopodlažní z pohledu normy.....	11
2.7 Vliv výšky podlahy na konstrukci podvozku	11
2.8 Technicko-ekonomické aspekty nízkopodlažnosti	12
3 VLIVY KONSTRUKCE SKŘÍŇE A PODVOZKU	16
3.1 Podvozek ovlivněn rozdělením skříně na články	16
3.2 Zajímavé příklady upořádání vozidel.....	19
3.2.1 Koncepce vozidel EVO (Pragoimex)	19
3.2.2 Vozidlo TANGO Léman (Stadler)	19
3.2.3 Další zajímavé konstrukce vozidel	20
3.3 Vliv typu podvozku na uspořádání nízké podlahy	21
3.3.1 Natočení otočného podvozku v oblouku	21
3.3.2 Vliv natočení otočného podvozku na nízkou podlahu	22
3.3.3 Kvantitativní posouzení vlivu natáčení	23
3.3.4 Omezení negativních vlivů natáčení podvozku.....	24
3.3.5 Omezení vzdálenosti od otočného čepu.....	24
3.4 Vliv uspořádání sedadel na vhodný tvar podvozku.....	25
4 ASPEKTY TRAKČNÍHO POHONU.....	26
4.1 Uvažované rozhodující komponenty	26
4.2 Prostory vhodné pro umístění rozhodujících komponent.....	27
4.3 Aspekty použití běžných podvozků a běžných náprav.....	28
4.4 Aspekty použití motoru pro více kol.....	29
4.4.1 Skupinový pohon	29
4.4.2 Individuální pohon pro dvojkolí	29

4.4.3 Samostatná kola a kolové pohony	29
4.4.4 Chování klasického železničního dvojkolí	30
4.4.5 Podvozek se samostatnými koly v přímé koleji	30
4.4.6 Jízda v oblouku	31
4.5 Druh motoru	31
4.6 Kvantitativní požadavky na trakční motor	32
5 KONKRÉTNÍ PŘÍKLADY KONSTRUKCÍ PODVOZKŮ	33
5.1 Dvojkolí a trakční motor – osy rovnoběžné	34
5.2 Dvojkolí a trakční motory - osy kolmé, motor uvnitř podvozku	37
5.3 Dvojkolí a trakční motory - osy kolmé, motor mimo podvozek	38
5.4 Dvojkolí a trakční motory - osy kolmé, motor na boku podvozku	39
5.5 Motor pro dvě samostatná kola vedle sebe	44
5.5.1 Nízkopodlažní tramvaj TMK2200 (výrobce Končar)	44
5.5.2 Brémská tramvaj	45
5.5.3 Nízkopodlažní Citadis (výrobce Alstom)	46
5.6 Motor pro dvě samostatná kola za sebou („podélné dvojkolí“)	49
5.7 Kolový pohon motorem umístěným „před nápravou“	50
5.7.1 Plně nízkopodlažní vůz 71-409 (výrobce UralTransMaš)	50
5.7.2 Kolový pohon – motor podélně v podvozku	53
5.8 Kolový pohon motorem umístěným svisle nad podvozkem	54
5.9 Kolový pohon motorem i s převodovkou umístěný v kole	58
5.10 Kolový pohon pomaluběžným motorem bez převodovky	59
5.11 Příklady neobvyklých konstrukcí vozidel	60
5.11.1 Podvozky s nestejně velkými koly	60
5.11.2 Nízkopodlažní vozidlo VLC Breda s jednonápravovými podvozky	61
5.11.3 Nerealizovaný projekt vozidla URBOS	62
ZÁVĚR	63
LITERATURA TIŠTĚNÁ	64
LITERATURA V ELEKTRONICKÉ PODOBĚ	64

Seznam symbolů a zkratek

Obecně používané symboly

symbol	Význam
EDB	Elektrodynamická brzda (TM rekuperuje a energii se vrací do troleje nebo maří v brzděném odporu)
PCC	Dodnes nejběžnější koncepce klasické jednosměrné tramvaje s pojezdem B₀'B₀' (USA od 1930, v ČR ČKD-Tatra typů T1 , T2 a T3)
PMSM	Synchronní motor s permanentními magnety
SRM	Spínaný reluktanční motor
TK	Temeno kolejnice (tj. nejvyšší místo na kolejnici)
TM	Trakční motor

Vybraní výrobci vozidel a komponent (v textu použité označení)¹

označení	Výroba, upřesnění názvu, sídlo, www (pokud není zřejmé z textu)
ČKD Tatra	Skříně, podvozky, kompletace, původně Ringhoffer Smíchov, krátce SKV (Siemens kolejová vozidla) Zličín, zánik 2011,
Inekon	Částečně nízkopodlažní vozy a jejich opravy - navazují na vozidla typu Astra (které v 90-tých letech vznikaly ve spolupráci firmy Škoda a el.výzbroj od firmy Elin), dnes strojařské části a kompletace probíhají v dílnách DP Ostrava
Parsnova	Rekonstrukce a opravy, výroba skříní, dříve ŽOS Šumperk, dnes člen skupiny Škoda
Pragoimex	Podvozky, motory, kompletace nových (a rekonstrukce a díly vozů ČKD Tatra), skříně a hrubá stavba od KOS Krnov,
SKD	Komponenty (originální výrobce náhradních dílů pro ČKD Tatra)
Škoda	Kompletní vozy (14T, 15T, 26T), měniče, motory atd.

¹ Zde jsou uvedeny pouze někteří – především tuzemští výrobci (ostatní jsou uvedeni v textu).

1 Úvod

V meziválečném období byly provozovány tramvajové soupravy typicky sestavované z rámových motorových vozů a vozů vlečných. Již tehdy mnohé z těchto vlečných vozů byly stavěny s nižší nástupní výškou - u nás například vlečné vozy výrobce **Ringhoffer Smíchov** známé pod přezdívkou **Krasin** (obr.1a) Kromě toho lze dohledat i příklady nízkopodlažních motorových vozů (viz např. [E1], [E26]).

V podmínkách narůstající konkurence dalších vozidel MHD (a zejména individuálního motorismu) v poválečných letech (v USA již dříve) však bylo nutno hledat možnosti zvýšit rychlost a efektivitu² tramvajové dopravy³. Tím došlo k přechodu na vozy typu **PCC** (u nás zejména dominantní vůz typu **T3**) s vysoko umístěnou podlahou.

	
<i>Obr.1a) Vlečný vůz - výroba Ringhoffer Smíchov v letech 1930-1946. Převzato z [E11]</i>	<i>Obr.1b) Tramvaj RT6N1 (výroba ČKD Praha 1993-1998). Převzato z [E12]</i>

Před cca čtvrtstoletím (v západní Evropě již dříve) se začaly objevovat snahy po renesanci tramvajové dopravy (ekologie, kapacita silnic ve městě, cena paliv) a to nejen co se týká jejího rozsahu a rychlosti, ale i s ohledem na „deklarovanou přátelskost“ vůči specifickým skupinám obyvatelstva (zejm. nízkopodlažnost - viz kapitola 2.8). V souvislosti s rozvojem techniky (pohony, regulace, konstrukční materiály a prvky – a zejména jejich spolehlivost, sériovost a cena) rovněž došlo k aplikaci příslušných technologií, které umožňují realizovat vozidla nízkopodlažní na nové technologické úrovni – tj. zejm. nízkopodlažní vozidla s velkým instalovaným výkonem, rychlostí a tažnou silou.

V současné době se dokonce pro mnohé uživatele jeví konstrukce vozidla s vysoko umístěnou podlahou (resp. vozidla jen částečně nízkopodlažní) jako řešení dnes již překonané, neprodejné, resp. jako politicky-nekorektní (s ohledem na diskriminaci pohyblivě handicapovaných občanů). Přitom je však nutno přiznat, že realizace nízkopodlažních vozidel ještě i dnes vede na značné množství problémů, které mohou vést na problémy nejen

² Větší měrný instalovaný výkon, větší zrychlení (díky velké adhezni hmotnosti), větší rychlosti (lepší možnosti odpružení u podvozkových vozidel), nižší personální náročnost, větší přepravní kapacita.

³ Přesto i tak došlo k výrazné celosvětové redukci tramvajové dopravy

technického rázu – a to jak při jejich návrhu, stavbě a uvádění do provozu (včetně mnohých příkladů vozidel které nikdy ani nebyly zprovozněny), ale zejména při jejich provozu (viz např. příklady stažení velkého množství již provozovaných vozidel z důvodů dodatečně zjištěných konstrukčních závad a jejich nutných předčasných oprav a rekonstrukcí).

Na druhou stranu se jedná o zajímavý a poměrně dynamicky se rozvíjející obor techniky, kde se stále ještě objevují nová řešení (a do blízké budoucnosti lze očekávat ještě další rozvoj – viz např. uplatnění kolových pohonů s novými druhy motorů atd.).

Předmětem zprávy je poskytnutí základního přehledu o možnostech moderního řešení pojezdové části kolejových vozidel MHD. Důraz je zde kladen zejména na vozidla typu „nízkopodlažní tramvaj“ (resp. obdobné vozidlo pro rychlotramvajové tratě apod.) a na perspektivní možnosti řešení pohonné části. Zpráva tak názorně shrnuje (a to i pro čtenáře méně obeznámeného s touto problematikou) požadavky kladené na trakční pohon a to jak z hlediska po něm požadovaných vlastností (požadovaný dosažitelný moment, požadavky na jeho řízení), tak zejména z hlediska prostorových a hmotnostních rozměrů využitelných pro vlastní trakční motor a další komponenty (z čehož následně vyplývají možnosti konstrukce).

Zpráva navíc poskytuje náhled na tuto problematiku i v kontextu porovnání s ostatními variantami řešení vozidla (tj. např. v porovnání s dodnes nejrozšířenějšími tramvajovými vozidly – u kterých nebyl striktně kladen požadavek na plně stoprocentní nízkopodlažnost atd.) a s argumenty pro a proti realizaci vozidla s nízkou uloženou podlahou. To je vhodné proto, aby porovnání vlastností mezi jednotlivými konstrukcemi bylo relevantní (viz např. provedení vozidel dle kap. 2.3 v porovnání se zdánlivě perspektivnějším 100% nízkopodlažním vozidlem dle kap. 5.11.2).

Zpráva je koncipována jako úvodní zpráva, s předpokladem, že po této zprávě budou následovat další výzkumné zprávy, kde budou jednotlivá konkrétní řešení řešena detailněji (s kvantitativním porovnáním dosažitelných parametrů jednotlivých konkrétních řešení).

2 Tramvajová vozidla z hlediska „nízkopodlažnosti“

Pro účely zprávy jsou vozidla popisovaná v následujícím textu rozdělena do následujících 4 základních kategorií (vycházejících z podmínek pohybu cestujících po vozidle):

- a) Vozidla s vysoko umístěnou podlahou (viz kap. 2.1) – vstup do vozidla po několika schodech⁴ (tj. výška podlahy například 900mm nad TK apod.).
- b) Vozidla částečně nízkopodlažní (viz kap. 2.2 a kap. 2.3) – kde alespoň u některých dveří je umožněn nástup do takových částí vozu, kde je nízká podlaha (např. 300 až 400mm nad TK) k čemuž stačí překonání jen jednoho schodu⁵. Ostatní části podlahové plochy vozidla (obvykle z důvodu umístění nad hnacími podvozky atd.) jsou umístěny vysoko, a proto pohyb cestujících uvnitř vozidla mezi nízkopodlažními a vysokopodlažními částmi vozidla je umožněn po schodech.
- c) Vozidla 100% nízkopodlažní (viz kap. 2.4) – všechny dveře pro cestující přímo do nízkopodlažní části (jako viz předcházející bod a). Ve vozidle není vysokopodlažní část pro cestující, která by byla oddělena schody⁶.
- d) Vozidla s extrémně nízkou podlahou (viz **ULF** např. kap. 2.5 a zejména kap. 5.8) – jde o 100% nízkopodlažní vozidlo, kde je výška podlahy snížena na „ultra“ nízkou hodnotu (tj. například méně než 200mm), což umožní nástup do vozidla z tramvajového nástupiště (které je ve výšce cca 180-200mm) vodorovně bez nutnosti stoupání do schodu⁷.

Z hlediska konstrukce podvozků (což odpovídá zaměření této zprávy) je vhodné přihlédnout i ke způsobu provedení vozidla v příčném řezu (v místě hnacího dvojkolí) – tj. z hlediska kap. 2.7. Další související aspekty nízkopodlažnosti - viz kap. 2.6 a kap. 2.8.

⁴Například u vozu **T3** jde o 3 schody (první schod ve výšce těsně nad nástupištěm a třetí stupeň již podlaha prostoru pro cestující).

⁵Například za tento jeden schod lze považovat již podlahu oproti okolí vně vozidla.

⁶Případně sem lze řadit konstrukce, kde je šikmá podlaha od nejnižších míst (u nástupních dveří) až do nejvyšších míst (například nad podvozky) například ve výšce 450mm, dále konstrukce, kde je zvýšená podlaha pouze v některých omezených prostorech (např. viz obr. – kde je vyvýšené místo v okolí některých sedadel nad podvozky) a dále konstrukce vozidel, kde je stanoviště řidiče vyvýšené. Ve všech těchto případech cestující procházející vnitřkem vozidla již nemusí překonávat schody.

⁷ Resp. při nástupu přímo z úrovně TK (tj. pokud nebude nástupiště) se jedná jen o jediný „schod“ tvořený podlahou vozu oproti okolnímu terénu na úrovni TK.

2.1 Vozidla s vysoko umístěnou podlahou

V podmínkách ČR (a v dalších zemích dřívějšího „východního bloku“) lze dnes jako klasické uspořádání tramvajových vozů jednoznačně⁸ označit vozidla typu **T3** (výrobce **ČKD Tatra** Praha) a jim podobná vozidla⁹ (například typ **105N** polského výrobce **Konstal** Chorzów, „Leningradský“¹⁰ typ **LM-68** nebo vozy typu **PCC 7000**¹¹ atd.). Jde tedy o vozidla vycházející ideově (případně i licenčně) z předválečné koncepce amerických¹² tramvají typu **PCC**, tj. skříň vozidla umístěna na 2 podvozcích, každý podvozek dvounápravový, každá náprava vlastní trakční motor (umístěný v podvozku). Výhodnost tohoto uspořádání (z hlediska vhodných chodových vlastností vozidla i z hlediska výhodného poměru hmotnosti a výrobní ceny ku mechanické pevnosti konstrukce) je zřejmá mj. i z analogie s elektrickými lokomotivami (a podobnými vozidly), kde uspořádání pojezdu **B₀'B₀'** patří rovněž k nejrozšířenějším¹³.

Z hlediska „nízkopodlažnosti“ a z hlediska zde sledovaných požadavků kladených na trakční motory vede na zhruba¹⁴ podobnou situaci i kloubové uspořádání tramvají rovněž s vysoko umístěnou podlahou - např. typy **K2** nebo **K8D5** z **ČKD** (viz např. [E101]), **102Na** výrobce **Konstal** Chorzów, dále „Leningradské“ **LVS-86**, bruselské **7700**, Curychské **Be4/6** atd.), kde jsou použity podvozky velmi podobné koncepcí. Krajní podvozek zde nese jen

⁸ Důvodem je zde především vysoké množství těchto vozů, které byly vyráběny od padesátých let až do sedmdesátých let (resp. i v osmdesátých a devadesátých letech - např. typy **T5C5** nebo **T6** z **ČKD**) v obrovských sériích (např. 14 tisíc vozů jen typu **T3** atd.). V některých případech (např. v západní Evropě a v USA) sice může být tato situace poměrně odlišná, což může souviset buďto s tím, že příslušní výrobci modernizovali koncepci jimi vyráběných vozidel v podstatně větší míře, nežli tomu bylo u nás (na západě konkurence – na východě povinnost vyrábět velké série osvědčených vozidel), nebo s tím, že v některých případech byla tramvajová doprava dříve velmi zredukována a tím při nastalé „renesanci“ tramvajové dopravy byl příslušný dopravní podnik vybaven jen moderními vozidly (např. Portland nebo Houston v USA). I přes tyto (spíše) „zahraniční“ výjimky se (a tím spíše v podmínkách ČR) jeví jako vhodné referenční vozidlo ke srovnání vlastností uvažovat mj. vozidlo odpovídající typu **T3** (resp. jejich modifikaci).

⁹ V případě **ČKD** např. jde o na sebe navazující typy **T1** (1951), **T2**, **T3**, **T4**, **T5** (tyristorová), **T6**, **T7** (1993)

¹⁰ Výrobce Petersburg Tram Mechanical Factory (PTMF) resp. Петербургский трамвайно-механический завод (ПТМЗ). Místo výroby (tč. Leningrad) uvedeno i v označení typů (písmeno **L**).

¹¹ Dle značení používaného v Bruselu, výrobce **BN** Constructions Ferroviaries et Métalliques (resp. La Brugeoise et Nivelles) Bruggy Belgie, dnes součást **Bombardier** Transportation Belgium S.A..

¹² Resp. vycházejí z „podobných“ vozidel typu „Swiss Standard Trams“ (tj. švýcarská standardní tramvaj vyvinutých pro Curych počátkem let 2.světové války (např. typy **Be4/4**).

¹³ Nutno však přiznat, že na rozdíl od lokomotiv v případě tramvají nejsou natolik urgentní požadavky na chodové vlastnosti vozidla (tramvaje mají provoz při nižší rychlosti a mají kratší kilometrické proběhy mezi opravami pojezdu), na přenos sil a v mnohých případech ani nejsou natolik striktní požadavky na dodržení hmotnostních limitů (tj. viz poměr nárůstu nápravových hmotností u vozidel tramvají a u vozidel drážních) aj. Naopak se zde klade stále větší důraz na usnadnění výstupu a nástupu do vozidla (při přetrvávajícím požadavku na schopnost průjezdu ostrými oblouky).

¹⁴ Respektive zde použití „Jakobsova“ podvozku (pod kloubem) může vést na další navýšení již tak vysoké podlahy ve vozidle (např. 970 mm místo nad v kloubu nad podvozkem místo jinde použitých 900 mm).

příslušný krajní „článek“ skříně a vnitřní podvozky¹⁵ nesou jak článek před tak i za tímto podvozkem, proto je nad tímto podvozkem ve skříní vytvořen otočný kloub mezi články.

Rovněž i některá článková¹⁶ vozidla (tj. s kloubem umístěný mimo podvozek) byla vyráběná s vysoko umístěnou podlahou¹⁷ (např. **KT4** z produkce **ČKD-Tatra** [E179], [E179]).

Jednoduchá (a tedy hmotnostně a cenově výhodná) konstrukce rámu skříně vozidla s vodorovnými podélníky (pod podlahou) přenášející většinu sil vede na nutnost umístit podlahu vozu do poměrně velké výšky (tj. s ohledem na velkou výšku kritických míst v podvozku – viz např. obr. 2.7a). Například pro vozidlo typu **T6B5** (resp. **T3M**¹⁸) je při průměru kola 700mm výška podlahy (viz např. [E105]) **900 mm nad TK**.

2.2 Vozidla částečně nízkopodlažní s klasickými podvozky

Složitějším provedením nosných části skříně (viz např. obr. 2.8b) lze dosáhnout¹⁹ toho, že část podlahy vozidla (obvykle u středních²⁰ aj. nástupních dveří) může být umístěna v podstatně nižší výšce, nežli je tomu u „vysoko umístěné podlahy“ konstrukcí popsaných v předcházející kapitole 2.1. Zbývající část podlahy²¹ tak zůstává „vysoko umístěná“ a tím zde umožňuje umístit klasické podvozky jako v kap. 2.1. Proto i při tomto řešení zde do značné míry zůstávají ostatní výhody zmíněné v předcházející kapitole²².

Jako příklady lze jmenovat např. vozidlo **VarioLF** výrobce **ČKD Pragoimex**, kde je (na rozdíl od „obdobného“ typu **T3**) mezi podvozky část podlahy s výškou sniženou na 350 mm

¹⁵ Tyto podvozky pod kloubem skříně jsou označovány jako tzv. Jakobsovy podvozky.

¹⁶ V souladu s poznámkou v kap. 2.1.3 v [2], str. 33, zde rozlišujeme pojem kloubové vozidlo (tj. s kloubem nad podvozkem) od pojmu článkové vozidlo (tj. s kloubem mimo podvozek).

¹⁷ Toto řešení je zde zmíněno zejména proto, neboť koncepce článkového uspořádání vozidla je používána často i u mnohých typů nízkopodlažních tramvají. Výhodou je pak to, že podvozek je vůči článku umístěn neotočně (resp. jen s možností minimálního natočení) a tím není nutno o tolik zmenšovat plochu podlahy jako je tomu u plně nízkopodlažních kloubových vozidel (kde např. natáčení dvounápravového podvozku vede na značné vůle mezi spodkem skříně a vrchními partiemi podvozku, pojezdových kol atd.).

¹⁸ V **ČKD** vyráběno 1983-1995 jako modernější verze typu **T3**. Později bylo toto označení **T3M** použito jinými výrobci pro jejich varianty rekonstrukce původních vozidel **T3**.

¹⁹ Při jistém nárůstu hmotnosti a zřejmě i mírném nárůstu ceny konstrukce při srovnatelné tuhosti

²⁰ Často je snižená podlaha ve střední části vozu a proto vstup předními nebo zadními dveřmi je umožněn pomocí několika schodů do vysokopodlažní části vozidla (podobně jako v kap.2.1).

²¹ V drážních podmínkách je podobné řešení užíváno spíše v případech, kdy se požaduje větší užité výška (kapsové vozy, hlubinové vozy **Uaai**, nebo patrové vozy **Bmo** atd.). Obdobné provedení s částečně „nízkopodlažní podlahou“ realizované prioritně za účelem usnadnění nástupu cestujících lze u nás dohledat v některých případech příměstských jednotek (řady **451**, **452**, **471**) a u nových motorových vozů (**814**, **841**).

²² Tj. vhodné chodové poměry, dále nízká cena a hmotnost (při stejné tuhosti) ve srovnání s řešeními uvedenými v následujících kapitolách.

nad TK (36% podlahové plochy), kloubové čtyř-podvozkové vozidlo **VariOLF3** (50%), tříčlankové „dvou-podvozkové“ vozidlo **Škoda 03T Astra/Anitra** (50%) atd.

Dále je nutno zmínit možnost rekonstrukce starších vozidel na podobné provedení a to například formou „vlození“ nízkopodlažního dílu – například rekonstrukce **K8D5** na typ **KT8.N2** nebo dvojice vozů **T3** na kloubové vozidlo **K3R-NT** (v **Pars nova** Šumperk), resp. **K8D5** na typ **K8D5-RN2P** nebo „rekonstrukce“²³ **T3** na **VariOLF** (v **Pragoimex** Praha).

2.3 Vozidla částečně nízkopodlažní se speciálními podvozky

Pro dosažení ještě lepších poměrů (ještě „většího procenta nízkopodlažnosti“ nebo nižších hodnot výšky podlahy) je u některých koncepcí použito speciálního uspořádání pojezdu, resp. podvozků zvláštního uspořádání. Pro názornost lze jmenovat tyto příklady:

- a) Podvozky umožňující snížení výšky podlahy nad nimi - tj. jinak řešený pohon (tj. minimalizovány jeho rozměry, případně i jeho umístění - viz např. obr. 2.7c) menší průměr kol, menší vůle mezi podvozkem a skříní, nižší umístění otočných čepů (resp. jiného spojení podvozku se skříní vozidla atd.).
- b) Nastavitelná výška (například pomocí pneumatického vypružení) kompenzující ojetí kol a zejm. stlačení pružin od proměnného zatížení (dle aktuálního obsazení vozu), případně umožňující nastavit nižší výšku pro nástup cestujících a větší výšku pro jízdu.
- c) Kombinace podvozků trakčních a podvozků běžných²⁴ (tj. pouze nosných „netrakčních“ podvozků), kde je možno podlahu nad těmito běžnými podvozky snížit díky absenci motoru a předovky, případně díky použití kol běžných náprav menšího průměru nežli je použito u náprav hnaných.
- d) Speciální podvozky umístěné co nejbližší k čelu vozidla a tím umožňující využít prostor nad podvozkem, který není překryt nízkou podlahou (vpředu vyvýšené místo řidiče, nad zadním čelem široká lavice k sezení). V extrémních případech dokonce i v provedení podvozku jako kombinace 1 trakční a 1 běžné nápravy (tj.

²³Z technického hlediska „rekonstrukce“ **T3** na **VariOLF** spíše odpovídá novostavbě vozu. Avšak oficiálně jde o rekonstrukce (na základě úředních dokladů starších vozidel) – tj. nižší požadavky nežli jsou kladená na nová vozidla (která musí splnit novější tj. přísnější normy).

²⁴V souvislosti s použitím běžných podvozků (resp. běžných náprav) je nutno jako další (byť pro někoho možná zdánlivě archaické) řešení uvést i možnost použití vlečných vozů – např. vlečný nízkopodlažní vůz **VV60LF** (výška podlahy 350 mm nad TK, výroba **Pragoimex** a **KOS Krnov** 2004-2006).

např. s uspořádáním pojezdu **(A1)′(1A)′**, výhody zmíněné v předcházejícím bodě, příklady viz kap. 5.11.1 nebo [E1], atd.).

2.4 Vozidla plně nízkopodlažní

Pro realizaci plně nízkopodlažního vozidla (tj. se 100% plochy určené pro cestující realizované ve výrazně snížené výšce) u mnohých konstrukcí nedostačují dříve zmíněné způsoby jak dosáhnout „nízkopodlažnosti“ a protože zde nastává problém i s výškou střední části dvojkolí (tj. náprava a nutné vůle okolo).

Proto se přistupuje buďto k použití kol o extrémně malém průměru (tj. ještě menší nežli vyžaduje řešení dle kap. 2.3a) nebo se v některých případech místo klasického dvojkolí používají „samostatná“ kola (levé a pravé kolo je spojeno pomocí nízko uložené nápravnice (viz např. obr.2.7d), díky čemuž může být podlaha vozu umístěná v podstatně nižší výšce než jsou středy kol). Trakční pohon pak může být realizován i individuálně pro každé kolo zvlášť (jako kolový pohon) nebo s mechanickými převody mezi koly na levé a pravé straně (viz např. 1.44 v [2]) příp. mezi koly na jedné straně (tzv. „podélné dvojkolí“) apod.

Tak lze dosáhnout výšku podlahy vozidla cca **300mm až 350 mm** nad TK.

2.5 Vozidla s ultra-nízkou podlahou

Požadavek na ještě nižší výšku podlahy při současném požadavku na 100% nízkopodlažnost²⁵ vede na ještě složitější mechanické uspořádání vozidla.

Jako příklad zde uvedme tramvaj **ULF** (tj. Ultra Low Floor) výrobce **Siemens**. Místo klasického dvojkolí jsou opět použita „samostatná“ kola. Na rozdíl od předcházející kap. 2.4 je zde však navíc použit vysoký portál (obr. 2.7e), který seshora obepíná prostor pro cestující. V „prostoru portálů“ jsou umístěny motory, převodovky, vypružení atd. Zjednodušeně řečeno toto komplikované uspořádání nahrazuje jednonápravový podvozek.

Výška podlahy **197 mm** (typ **ULF 197** – blíže viz např. kap. 5.8).

²⁵Případně teoreticky možná vozidla „částečně ultra-nízkopodlažního“ (tj. s některými prostory pro cestující ve výšce méně než 200mm a s některými prostory jako vysokopodlažní zde neuvažujeme – viz kap.2.8.

2.6 Vozidla nízkopodlažní z pohledu normy

Dle normy **ČSN 281300** (zde viz kap. 4.4.3) – následuje citace z [3]: „nízkopodlažní vozidlo musí splňovat tyto požadavky:“

- a) „nástupní výška při neojetých (nových) kolech a prázdném vozidle nesmí být vyšší než 400mm“
- b) „umožnit montáž zařízení pro bezbariérový nástup.“

Tyto kritéria by bylo vhodné mít na zřeteli při porovnání s parametry zde uvedených příkladů vozidel, kde je běžně uváděna nástupní výška 350mm (a méně) a navíc je snižena výška i v dalších částech podlahy (případně je uváděna 100% nízkopodlažnost).

2.7 Vliv výšky podlahy na konstrukci podvozku

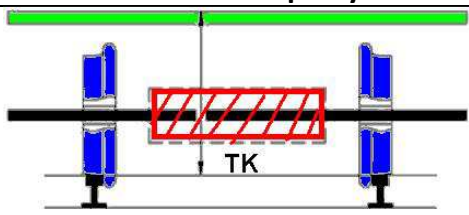
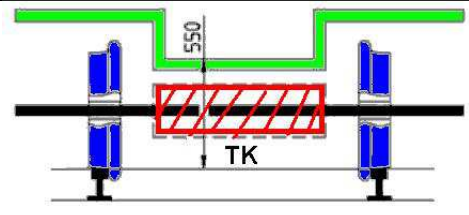
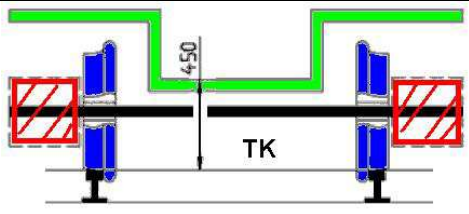
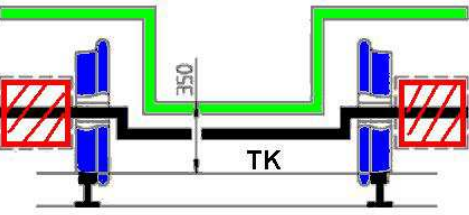
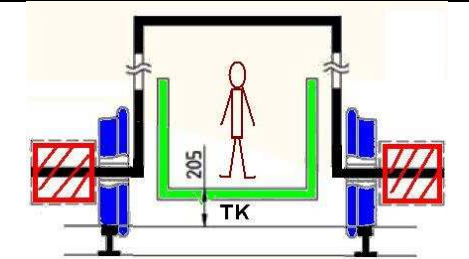
Uvedme hodnocení vozidel ještě z hlediska výšky podlahy v místě nad pojezdovými koly (v místě nápravy). To je sice kritické místo (neboť lze zde předpokládat nejvyšší místo), avšak rozhodující je výška pro nástup cestujících do vozidla (viz např. kap. 2.6 a kap. 2.8). A tuto výšku lze ovlivnit ještě dalšími způsoby - např. použití běžných náprav (viz kap. 2.3 odstavce c, d), sklon podlahy ve voze, rozmístění dveří²⁶ ve voze a šikmá plocha podlahy²⁷, schody uvnitř vozidla (viz kap. 2.2 atd.).

S inspirací vycházející z propagačních materiálů [E6] výrobce **SKF** (tj. výrobce ložisek, a dalších komponent pro vozidla) lze formulovat jednotlivé kroky ke konstrukci nízkopodlažního vozidla (viz obr. 2.7). Již ze zde uvedeného porovnání rozdílů mezi obr. 2.7a až obr. 2.7e (a dále kap. 2.1 až kap. 2.5) vyplývá, že větší nízkopodlažnost vede na vyšší²⁸ konstrukční složitost, hmotnost a cenu vozidla a pohonu.

²⁶ Tedy např. dveře ve větší vzdálenosti od podvozků.

²⁷ Pokud budeme například uvažovat výšku podlahy 500mm nad podvozkem a 350mm ve dveřích (tj. rozdíl 150mm) při podélné vzdálenosti 1,5m vychází sice značný sklon podlahy 10%. Avšak i takto velký sklon vede na podstatně nižší statické podélné síly působící na zde stojícího nebo jdoucího cestujícího nežli setrvačné síly dané rozjezdem a zejména brzděním vozidla (a to tím spíše, že tato síla je statická, zatímco cestující by se měl držet natolik pevně, aby se udržel i při neočekávaném nárůstu brzdících sil).

²⁸ A zřejmě zpočátku jen mírně, avšak čím budou složitější varianty (ve smyslu „více se blíží ideálu ve smyslu **ULF**“) tím budou tyto „dokonalejší a modernější“ varianty stále více (a strměji) těžší, dražší atd.

Stupeň ²⁹ nízko- podlažnosti	Popis konstrukce náprav vozidla Typická výška podlahy	Příčný řez vozidlem v místě nápravy - výška podlahy nad TK závisí na umístění pohonu a konstrukci nápravy
0°	Konstrukce s rovnou podlahou, pro starší konstrukce, když ještě výška podlahy nepatřila mezi rozhodující parametry (kap. 2.1 a 2.2) 700mm až 900mm³⁰	 <i>Obr.2.7a) Klasická vysoká podlaha [E6]</i>
1°	Konstrukce s výškově členěnou podlahou nad podvozkem a pohon uvnitř podvozku (některé varianty v kap. 5.1 a 5.2) 550mm	 <i>Obr.2.7b) Snížená podlaha nad pohonem [E6]</i>
2°	Konstrukce dvojkolí s pohonem umístěným mimo centrální prostor podvozku (viz kap. 5.3 a 5.4) 450mm	 <i>Obr.2.7c) Snížená podlaha nad nápravou [E6]</i>
3°	Konstrukce bez dvojkolí a „volná“ kola mechanicky spojená nápravnicí umístěnou dole (viz kap. 5.5 až 5.7 a 5.9 až 5.11.1). 350mm	 <i>Obr.2.7d) Snížená podlaha nad nápravnicí [E6]</i>
4°	Konstrukce bez dvojkolí a „volná“ kola mechanicky spojená portálem až nahore pod stropem vozidla (viz kap. 5.8) 197 až 205mm	 <i>Obr.2.7e) Ultra nízká podlaha [E6]</i>
<i>Obr.2.7 Příčný řez vozidlem. Upraveno a převzato z [E6]</i>		

2.8 Technicko-ekonomické aspekty nízkopodlažnosti

Je zřejmé, že vozidla nízkopodlažní (ve srovnání s klasickými vozidly) s sebou nesou jisté problémy ekonomického i technického rázu (vyšší cena, hmotnost, poruchovost,

²⁹ Jedná se pouze o pracovní označení pro účely porovnání v rámci této zprávy.

³⁰ Dáno průměrem kol (uvažováno 500 až 700mm) + konstrukce, vůle a rezervy na odpružení.

opotřebení, údržba, případně negativní vlivy na cestující³¹, trať a její okolí). Proto připomeňme důvody dnes stále častějšího používání nízkopodlažních vozidel.

Jako výhody vozidla nízkopodlažního (resp. dokonce 100% nízkopodlažního) se obvykle veřejně uvádí výrazné zjednodušení nástupu pro osoby se sníženou pohyblivostí - tj. osoby částečně nebo zcela imobilní, starší osoby, velmi malé děti (a matky s dětskými kočárky), osoby s objemnějšími zavazadly (zejména typu „zavazadlo na kolečkách“). Pro všechny tyto příklady je usnadnění jejich mobility veřejně přínosné³².

Rovněž tak se argumentuje i tím, že bude-li takto zjednodušeno cestování v MHD i pro tyto druhy cestujících, pak nebudou tolik používat soukromá vozidla (zejm. matky + kočárky). Třetí výhodou nízkopodlažnosti (která se však již ne vždy tolik veřejně prezentuje) je urychlení nástupu cestujících – a tím zrychlení dopravy, zvýšení produktivity práce řidiče a vozidla (tj. finanční úspory až několik desítek procent).

Z hlediska usnadnění cestování osobám se sníženou pohyblivostí, by zřejmě bylo vhodné porovnat množství těchto osob (tj. zejména s ohledem na variantu používání výhradně 100% nízkopodlažních vozidel) – z tohoto hlediska by zřejmě používání vozidel s rozumě voleným podílem nízké podlahy (odhadem cca 40% až 70%) vedlo k dostatečnému splnění skutečných požadavků - bez nutnosti řešit náročné technicko-ekonomické problémy konstrukce vozidel se 100% nízkopodlažností³³. Problematika urychlení nástupu je řešitelná nejen snížením celkové výšky podlahy - ale rovněž i dalšími prostředky za cenu nižších nákladů – např. umístění a šířka dveří, případně dosažení dostatečné výšky podlahy mimo vstupní dveře (tj. vnitřní výškové členění podlahy) atd.³⁴

Rovněž je nutno si uvědomit, že v exponovaných časech dopravních špiček je někdy množství cestujících až takové, že snížení kapacity vozidel vyplývající ze snahy dosáhnout

³¹ Hluk a vibrace (vlivem menších prostorů pro odpružení větší dynamické účinky atd.).

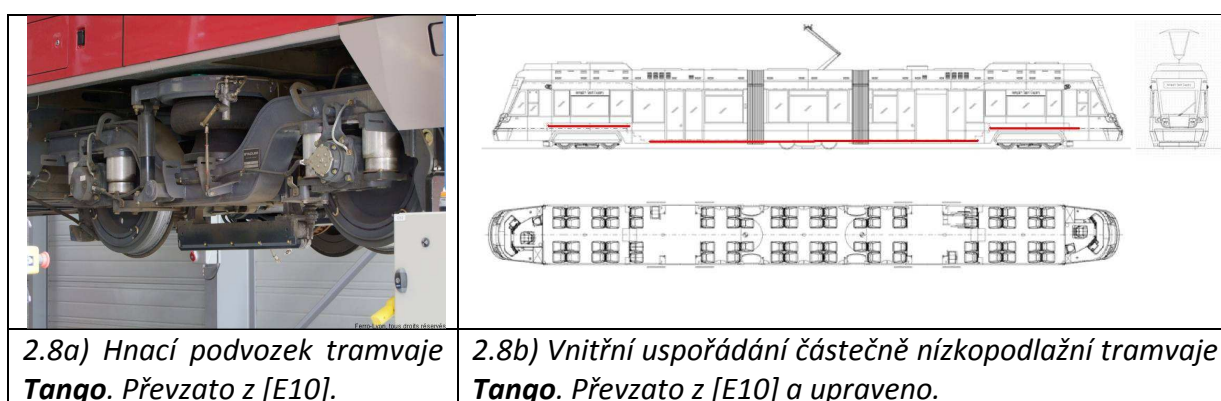
³² Do té míry, že se to stává až politickým heslem (ve smyslu umožnit „svobodu pohybu“ a tím jim umožnit využívat dalších lidských svobod“ viz např. [144]).

³³ Přitom není možno brát v úvahu pouze procento nízké podlahy – je rovněž nutno řešit vnitřní uspořádání vozidla, počet a umístění dveří (dále například u všech provozovaných typů souprav zajistit možnost bezbariérového nástupu v cca stejném místě atd.).

³⁴ Dále by zřejmě bylo vhodné porovnat náklady investované do změny vozidlového parku ve srovnání s náklady na stavební opatření ve smyslu zvýšení nástupišť - byť za cenu změny nízkých nástupních ostrůvků přístupných (z libovolně tj. i z vozovky) na vysoká nástupišť ohrazená zábradlím (viz např. systémy metropolitních tramvají s vysokou nástupní hranou – např. **Metrolink Manchester**).

vysoké nízkopodlažnosti³⁵ může vést až ke kontraproduktivním stavům (kdy moderní plně nízkopodlažní vozidlo i při své vyšší ceně, hmotnosti atd. poskytuje nižší přepravní výkon při nižším komfortu pro cestující).

Z tohoto hlediska je vhodné srovnání stavu v západních zemích, kde (zřejmě s ohledem na nižší počet cestujících na 1 vozidlo, resp. na 1m²) je upřednostňováno pohodlí cestujících (tj. vyšší počet sedadel, nízká podlaha atd.). Zatímco ve východních zemích (a zatím ještě i u nás) je nutno přihlížet i k ekonomickým hlediskům a k nutnosti dosáhnout dostatečné přepravní kapacity (tj. méně sedadel a větší prostory pro stojící cestující³⁶).



Z tohoto hlediska se jeví jako rozumné řešení, že světoví výrobci udržují i ve svém výrobním portfoliu tramvají nejen koncepce vozidel plně nízkopodlažních ale i koncepce vozidel s poměrně vysokým podílem vysoké podlahové plochy.

Například Švýcarský výrobce **Stadler** vyrábí vozidla částečně nízkopodlažní vozidla typů **Tango** (viz obr.2.8a), které jsou vystrojeny podvozky klasické koncepce³⁷ (viz obr.2.8a) a přitom lze dosáhnout vysokého poměru nízkopodlažní části vozidla (viz obr.2.8b – červeně je naznačena výška podlahy, oba krajní podvozky hnací, prostřední podvozek je běžný, 70% nízké podlahy, výška podlahy 350mm, průměr hnaných kol 720mm, běžná kola 650mm, maximální rychlost 100km/h).

³⁵ Což souvisí jednak s počtem a s nedokonalým uspořádáním sedadel ve vozidle (při nízké podlaze je nutno využít zejména vyvýšené části podlahy nad podvozky), zúžením míst pod přechodovými měchy, umístění některých komponent pohonů a podvozků ve větší výšce (v portálech u **ULF** – viz kap. 5.8, v rozšířených bočnicích – viz kap. 5.5.1) apod. Jako názorný příklad, uveďme srovnání klasického autobusu a plně nízkopodlažního autobusu (např. **Iris City Bus**), kde je sice veškerá podlahová plocha (mimo sedadla) nízkopodlažní, avšak vlivem této plně nízkopodlažnosti došlo ke zmenšení podlahové plochy vlivem horšího uspořádání vnitřku vozu (musí být dvoj-sedadla nebo zbytečně široká jedno-sedadla) a zejména vlivem umístění agregátu v zadní stěně (v klasických vozidlech je umístěn pod podlahou – viz kap.5.11.2).

³⁶ A méně sedadel znamená menší plochu vyvýšené podlahy (pod kterými by byl nízkopodlažní pohon).

³⁷ Konstrukce těchto tramvajových podvozků je velmi blízká podvozkům železničních vozidel.

Naproti tomu pro odběratele požadující vozidla s ještě vyšším podílem nízkopodlažnosti (např. pro provoz uvnitř měst) jsou nabízena vozidla **Variobahn**. Např. na obr.2.8d je uspořádání 100% nízkopodlažní tramvaje **Variobahn** pro město **Helsinky** (1993 původně **Variotram** výrobce **ABB**, resp. **ADtranz**, resp. **Bombardier**). Podvozky (obr. 2.8e) vozidla obsahují čtveřici kolových pohonů. Motory jsou umístěny v ose pojezdových kol s výrazným přesahem směrem ven od podélné osy vozidla (vozidlo je úzkorozchodné 1000mm, proto je zde dostatečný prostor).



Proto z podvozku výškově vyčnívají jen v rozích tyto 4 motory a pojezdová kola. To umožňuje redukovat výrazně zredukovat vliv pohonu na nízko uloženou podlahu (nad těmito vyvýšeninami jsou sedadla mezi nimi je ulička a prostor pro nohy sedících cestujících).



3 Vlivy konstrukce skříně a podvozku

Množství variant konstrukčního uspořádání tramvajového vozidla jsou uvedeny v kap. 2 v [2] (zejména kap. 2.1.7.2 a kap. 2.5 v [2]). Zde řešíme aspekty vlivů volby těchto uspořádání na dostupné prostory vhodné pro umístění pohonu.

3.1 Podvozek ovlivněn rozdělením skříně na články

Požadavek průjezdu ostrými oblouky vede na nutnost dělit vozidlo na kratší články. Způsob rozdělení vozidla na jednotlivé články (a způsob jak jsou tyto články mezi sebou propojené) výrazně ovlivňuje konstrukci podvozků (tj. především to, zdali mají být použity podvozky otočné nebo neotočné resp. jen omezeně otočné). Na obr. 3.1 jsou zjednodušeně zobrazeny základní varianty rozdělení vozidla. Na obr. 3.1 je pro názornost zobrazeno použití dvounápravových podvozků. V některých případech však místo nich mohou být použity podvozky jednonápravové (viz další text). Dále je nutno upozornit na to, že reálné provedení vozidla mohou být realizovány kombinace několika základních verzí (zobrazených v obr. 3.1) – zejména krajní články jsou obvykle realizovány nesymetricky – tj. například směrem ke kraji vozidla je článek umístěn nad vlastním otočným podvozkem a směrem ke středu vozidla je článek spojen s dalšími články apod. Rozdíly mohou být i v tom, že některé podvozky budou hnací (vyšší výška podlahy nad nimi) a některé jen běžné.

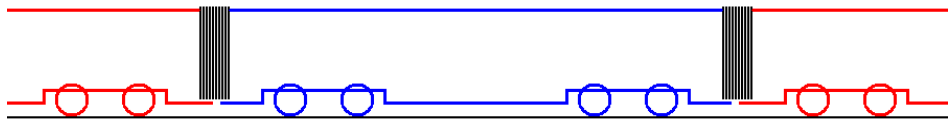
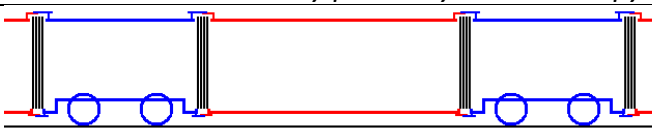
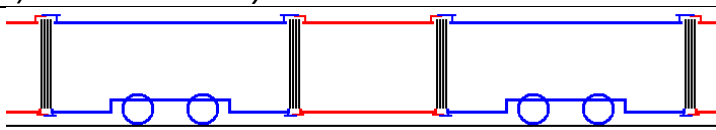
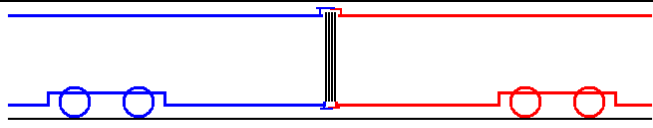
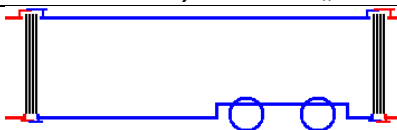
Na obr. 3.1a jde o propojení „samostatných“ vozidel. Obvykle jsou použity otočné dvounápravové podvozky (většina současných osobních železničních vozidel³⁸, metro atd.). U některých tramvají často spíše jde o využití vozidel starších konstrukcí³⁹ (např. soupravy vozů **T3** apod.), resp. jde o spojení několika „mechanicky relativně samostatných“⁴⁰ částí vozidla do delšího uspořádání (např. viz obr. 2.14j v [2], resp. zde viz obr. 3.2.1b, 5.5.2a). Výhodou je omezení negativního mechanického ovlivňování jednotlivých článků mezi sebou (viz např. obr. 5.5.2a) a dlouhými desetiletími osvědčené kvalitní chodové vlastnosti (jde o historicky

³⁸ U některých historických konstrukcí i „jednonápravové neotočné podvozky“ nebo dvojkolí přímo uložená v rámu. U velmi rozšířené řady motorových vozů **814** jsou použity otočné jednonápravové podvozky.

³⁹ S tím, že tato vozidla obvykle nejsou propojena měchy ani můstky pro přechod cestujících mezi jednotlivými články. A jednotlivé vozy jsou často dokonce propojeny „dlouhým spřáhlem“ – tj. z hlediska celkové délky soupravy je zde poměrně velký podíl délky nevyužité pro cestující. Jsou zde dvě (obvykle zúžená) čela vozů, spřáhla (a případně i nevyužívané stanoviště řidiče). Jako další nevýhoda se v poslední době stále více připomíná psychologicky nižší odolnost proti vandalismu atd. (zadní vůz „bez dozoru řidiče“). Výhodou je zde zejména možnost rozdělení na kratší jednotky (při poruše, při provozních požadavcích na nižší kapacitu vozidla, případně možnost dělení soupravy na různé směry.

⁴⁰ Avšak tyto části („poloviny“) vozidla nemusí být samostatně funkční.

nejstarší řešení). Rovněž zde není nutno realizovat mechanicky složité klouby mezi články (a dále jednodušší údržba, rozpojování při opravách atd.).

Druh	Koncepce skříně – dělení a umístění článků
Spojená „samostaná“ vozidla	 3.1a) Spojená „samostatná vozidla“
Kloubové vozidlo (otočné podvozky)	 3.1b) Kloubové vozidlo – Jakobsovy podvozky s dvojitým čepem
	 3.1c) Kloubové vozidlo – Jakobsovy podvozky s dvěma čepy
Článekové vozidlo (podvozky obvykle neotočné vůči neseným článkům)	 3.1d) Článekové vozidlo – podepřené články krátké (nad obvykle neotočným podvozkem) a zavěšené články dlouhé
	 3.1e) Článekové vozidlo – podepřené články dlouhé (nad obvykle neotočným podvozkem) a zavěšené články krátké
	 3.1f) Článekové vozidlo bez zavěšených článků „Brémská tramvaj“
Nesymetrické varianty článku	 3.1g) Nesymetrický článek „polozavěšný“ – tj. vlevo zavěšený, vpravo podepřený na svém podvozku

Na obr. 3.1b až obr. 3.1e je zjednodušeně znázorněno porovnání postupného přechodu od vozidla kloubového k vozidlu článkovému. Není-li nutno dělit soupravu vozidel,

pak sloučením podvozků sousedních článků (obr. 3.1a) přejdeme k vozidlu s Jakobsovým podvozkem, který je společný pro oba vedlejší články (obr. 3.1b a 3.1c).⁴¹

Je-li použit dvojitý čep (obr. 3.1b), pak pro jeden podvozek stačí jediný (a poměrně krátký) přechodový měch a na podlaze jediná „točna“. Tím lze dosáhnout nízkého úbytku podlahové plochy a poměrně vysokého komfortu pro cestující.

Jakobsův podvozek s dvěma otočnými čepy - zde každý článek má vlastní čep – viz obr. 3.1c. S nárůstem vzdáleností těchto čepů⁴² mezi sebou dochází jednak k nárůstu délky přechodového měchu a případně k nutnosti použít na podlaze dvě „točny“. To je nevýhodné jednak psychologicky (dlouhý přechodový měch bez oken), ale hlavně narůstá úbytek podlahové plochy (pod přechodovým měchem je užší podlaha nežli jinde ve vozidle) a klesá komfort - málokterý cestující chce stát (resp. sedět⁴³) současně v různých člancích a reagovat na měnící se úhel natočení mezi nimi).

Pomyslným zvětšením částí nad Jakobsovým podvozkem (obr. 3.1c) lze dospět k „zrovnoprávnění“ tohoto (jinak obtížně využitelného) prostoru až ke stavu na obr. 3.1d, kde zde v podstatě vznikl nový článek nad podvozkem (pracovně pro účelu tohoto textu budeme používat interní označení „podepřený článek“ a „zavěšený článek“). Podepřený článek je nad podvozkem, proto je realizován buďto s vyšší podlahou nebo s výrazným výškovým členěním spodní části⁴⁴ (u boků je podlaha vyšší - obvykle je to pod sedadly, proto to nevádí).

Změnou poměru délek článků (tj. spíše delší podepřený a kratší zavěšený) lze dospět k teoretickému mezistupni zobrazenému na obr. 3.1e, který není příliš výhodný a zde je uveden jen s ohledem na přechod na následující stupeň na obr. 3.1f.

Budou-li zcela vypuštěny zavěšené články – tj. pokud budou klouby přímo spojeny „podepřené články“ (viz 3.1f), dospějeme⁴⁵ k neobvyklému uspořádání vozidel známému

⁴¹ Za aplikaci tohoto uspořádání na jednonápravový podvozek lze považovat např. vozidlo **ULF** výrobce **Siemens** (viz kap. 5.8), resp. střední články vozidla dle kap. 5.11.2.

⁴² Například u vozidla **ForCity 15T** výrobce **Škoda** je vzdálenost těchto otočných čepů dokonce shodná s rozvorem podvozků (otočné čepy umístěny nad „nápravami“ – obr. 5.10b).

⁴³ Např. u vozidla dle obr. 2.8b jsou sem nasměrovány některá sedadla.

⁴⁴ Ještě větší zúžení nízké podlahy (prostoru dole) je v případě pokud by se zde použil plně otočný podvozek. Otočný podvozek zde navíc ještě zvyšuje počet stupňů volnosti (složitější chování vozidla).

⁴⁵ A naopak pokud u uspořádání s dvoj-nápravovými neotočnými podvozky dle obr. 3.3.1f budeme zvyšovat rozvor podvozků lze tak dospět zpět k uspořádání dle obr. 3.3.1a s dvojkolími přímo uloženými v rámu.

jako „Brémská tramvaj“ (viz obr.5.5.2a) resp. tramvaj **KT4D** výrobce **ČKD-Tatra** používané zejm. v německých starých městech, kde jsou ostré oblouky (viz např. [E179]).

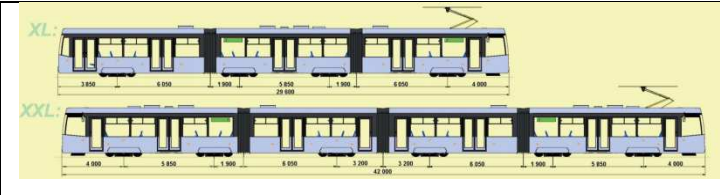
Jako příklad nesymetrického uspořádání článků zde uvedme (kromě výše zmíněného příkladu krajních článků) variantu „polozavěšeného“ článku (obr. 3.1g), kde těchto článků může být zavěšených i několik za sebou. Provedení s jednonápravovými neotočnými „podvozky“ jsou známy na železničních vozidlech u Španělských souprav **Talgo** (v případě tramvají viz obr. 3.2.3b a kap. 5.11.3). V poslední době se lze setkat s tímto uspořádáním s otočnými dvounápravovými podvozky u některých typů nízkopodlažních tramvají (viz např. typ **EVO** výrobce **Pragoimex** – viz kap. 3.2.1 - obr. 3.2.1).

3.2 Zajímavé příklady upořádání vozidel

Některé příklady jsou uvedeny v dalším textu, další varianty jsou dostatečně známé a názorné. Proto zde uvedeme jen některé konstrukce (pro souvislost s předchozím textem).

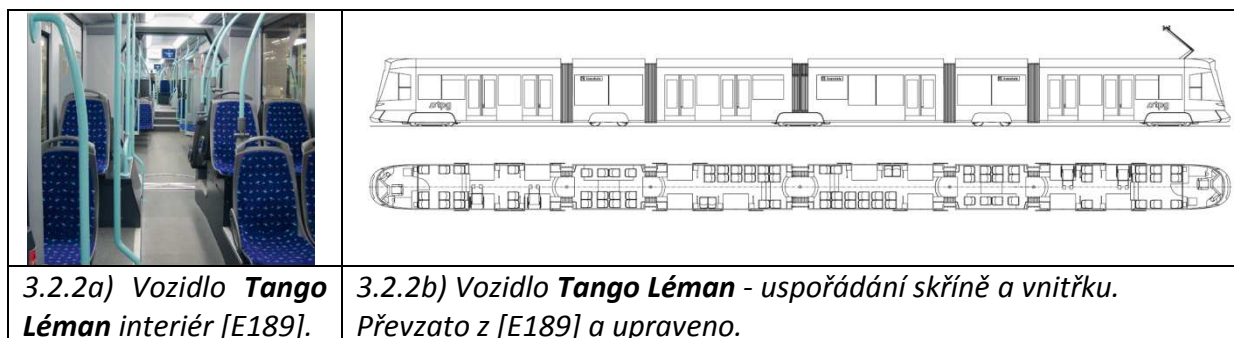
3.2.1 Koncepce vozidel EVO (Pragoimex)

Vozidlo (obr. 3.2.1a) je zajímavé nejenom (poměrně neobvyklým) uspořádáním článků skříně ale rovněž i tím, že jde o 100% nízkopodlažní vozidlo a s poměrně jednoduchou a výhodnou konstrukcí podvozků (viz obr. 5.1a). Rovněž jde o nové vozidlo (v DP Liberec sestaven a v roce 2013 certifikován první prototyp). Výška podlahy je 350mm až 500mm, průměr kol 610mm, všechny podvozky hnací, výkon 6x 65 kW).

	
3.2.1a) Vozidlo EVO základní verze L a uspořádání interiéru [E31].	3.2.1b) Vozidlo EVO prodloužené verze uspořádání XL a XXL. Převzato z [E31] a upraveno.

3.2.2 Vozidlo TANGO Léman (Stadler)

Zajímavá kombinace verzí dělení skříně (dle obr. 3.1c, 3.1d i 3.1e) je obousměrné úzkorozchodné (1000mm) částečně nízkopodlažní vozidlo (75%), dlouhé 44m, 5-ti podvozkové (z toho 3 podvozky hnací otočné a 2podvozky běžné), výška nízké podlahy 313mm až 363mm, průměr kol 680mm (hnací), resp. 560mm (běžné), výkon 6x125 kW.

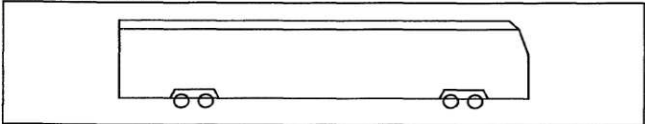
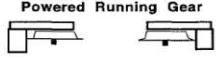


3.2.2a) Vozidlo **Tango Léman** interiér [E189].

3.2.2b) Vozidlo **Tango Léman** - uspořádání skříně a vnitřku. Převzato z [E189] a upraveno.

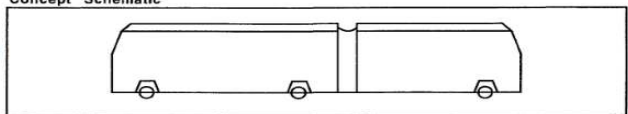
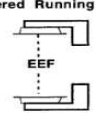
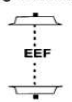
3.2.3 Další zajímavé konstrukce vozidel

Zajímavým zdrojem informací, kde lze dohledat zejména příklady starších (cca 90-tá léta) konstrukcí nízkopodlažních tramvají jsou uvedeny ve zdroji [E2].

City/Authority: Prototype (Milan) (Italy) Manufacturers: Socimi Vehicle Type: S-350LRV Category: 3 Ordered: 1 Year of Delivery: 1989 CHARACTERISTICS Car Length: 14 m (45.9 ft) Car Width: 2.4 m (7.9 ft) Low Floor Area: 100% Floor Height High: 350 mm (13.8 in) Low: 350 mm (13.8 in) Weight: 10.5 tonnes (23,100 lbs) Specific Weight: 312 kg/m² (64 lb/ft²) Seats: 33 Standees: 49 @ 4 pass/m²	Concept Schematic  RUNNING GEAR Axle Arrangement: Bo'Bo' Power Wheel Diameter: 550 mm (21.7 in) Power Gear: Independent wheels mounted on radial-arm axleboxes driven by motor via parallel gears Track Gauge: 1445 mm (56.9 in) Min Curve Radius: 15 m (49.2 ft) Max Speed: 70 km/h (44 mph) PROPULSION Propulsion Technology: DC Line Voltage: 600 V Number of Motors: 8 Total Power: 160 kW (215 hp) Specific Power: 15.2 kW/tonne (18.6 hp/ton) Powered Running Gear  Trailing Running Gear 
--	--

3.2.3a) Vozidlo **Socimi** Převzato z [E2] a upraveno (pro srovnání viz kap. 5.7.1).

Ze zde [E2] uvedených příkladů s jednonápravovými „podvozky“ uveďme alespoň obr.3.2.3b.

City/Authority: Bonn/SWB (Germany) Manufacturers: German Consortium (VDV) Vehicle Type: GTW-ZR Category: 3 Ordered: 1 Year of Delivery: 1991 CHARACTERISTICS Car Length: 20.19 m (66.2 ft) Car Width: 2.4 m (7.9 ft) Low Floor Area: 100% Floor Height High: 350 mm (13.8 in) Low: 290 mm (11.4 in) Weight: 18.56 tonnes (40,900 lbs) Specific Weight: 383 kg/m² (78 lb/ft²) Seats: 51 Standees: 67 @ 4 pass/m²	Concept Schematic  RUNNING GEAR Axle Arrangement: A'A'1' Power Wheel Diameter: 560 mm (22 in) Power Gear: Motored EEF self-steering wheelset Trailer Wheel Diameter: 560 mm (22 in) Trailer Gear: EEF wheelset Track Gauge: 1435 mm (56.5 in) Min Curve Radius: 18 m (59.1 ft) Max Speed: 70 km/h (44 mph) PROPULSION Propulsion Technology: AC Line Voltage: 750 V Number of Motors: 4 Total Power: 240 kW (322 hp) Specific Power: 12.9 kW/tonne (15.7 hp/ton) Powered Running Gear  Trailing Running Gear 
--	---

3.2.3b) Vozidlo **GTW-ZR** Převzato z [E2] a upraveno.

3.3 Vliv typu podvozku na uspořádání nízké podlahy

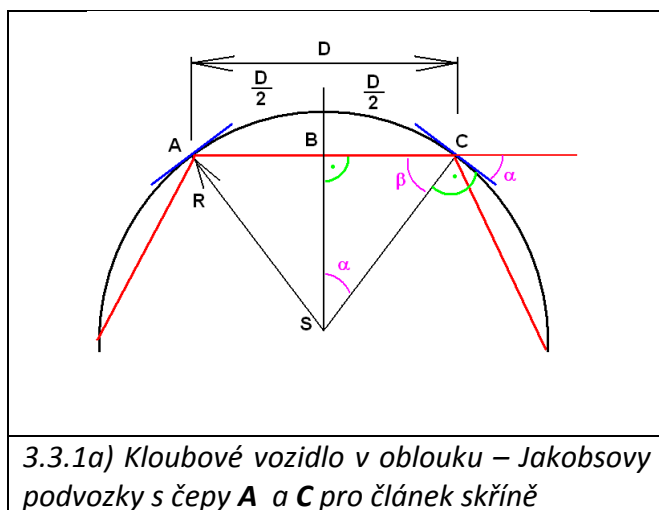
Pro názornou demonstraci vlivu volby konstrukce vozidla na aspekty související s nízkopodlažností provedme několik zjednodušujících úvah.

3.3.1 Natočení otočného podvozku v oblouku

Uvažujme kloubové vozidlo (např.⁴⁶ dle obr. 3.1b v oblouku o poloměru **R** (obr. 3.3.1a). Pokud bude článek mít délku **D** (tj. přesněji vzdálenost mezi jeho otočným čepem **A** a otočným čepem **C**) a pokud budeme uvažovat, že se přední Jakobsův podvozek v bodě **A** i zadní Jakobsův podvozek v bodě **C** natočí tečně ke kružnici (tj. jejich nápravy cca radiálně), pak za těchto zjednodušujících předpokladů je úhel natočení podvozku vůči skříni:

$$\alpha = \arcsin (D/2R) \quad (3.3.1)$$

Tab.3.3.1 uvádí hodnoty příslušného úhlu natočení α pro oblouk **R=15m** a **R=25m**. Pro reálné hodnoty parametrů kolejových vozidel⁴⁷ jde o tak malé úhly, že je závislost zhruba lineární. Tučně jsou zde vyznačeny hodnoty odpovídající zde uvažovaným vozidlům. Kratší články (např. s jednonápravovými podvozky dle kap. 5.8 **ULF**) teoreticky mají možnost průjezdu ostřejším obloukem. U vozidel s delšími články nestačí jen umožnit větší úhel natáčení podvozků, neboť je nutno řešit dodržení průjezdného průřezu.



	α (R=15m)	α (R=25m)
D=6m	$\alpha= 11^\circ$	$\alpha= 7^\circ$
D=7m	$\alpha= 13^\circ$	$\alpha= 8^\circ$
D=8m	$\alpha= 15^\circ$	$\alpha= 9^\circ$
D=10m	$\alpha= 19^\circ$	$\alpha= 12^\circ$
D=11m	$\alpha= 21^\circ$	$\alpha= 13^\circ$
D=12m	$\alpha= 24^\circ$	$\alpha= 14^\circ$
Tab.3.3.1 Natočení podvozku v oblouku		

⁴⁶ Na stejné výsledky vede i situace dle obr.3.1a, 3.1c a za jistých okolností i 3.1f. Vyšetřování chování „modernějších“ uspořádání dle obr. 3.1d až 3.1g je složitější (viz např. obr. 5.5.2a).

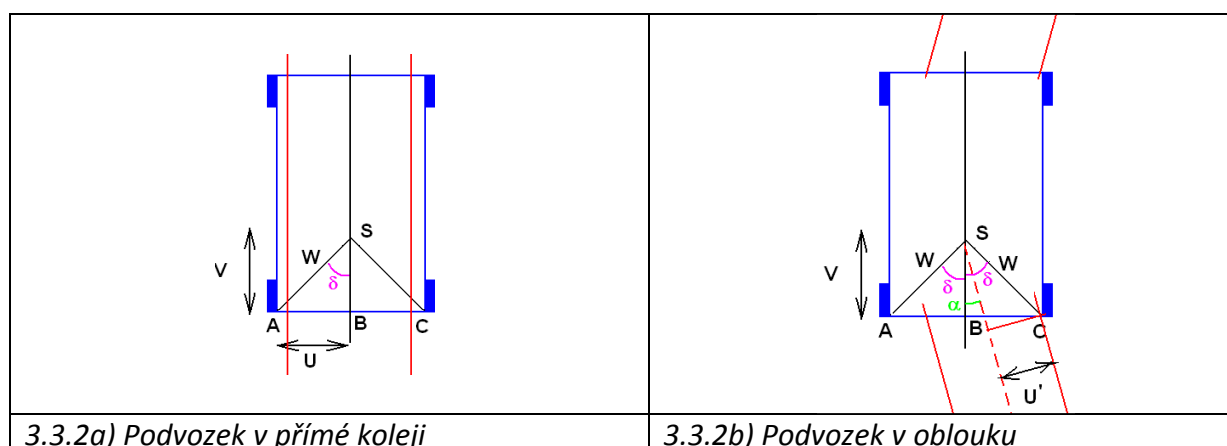
⁴⁷ Je vhodné poznamenat, že u drážních vozidel jsou minimální hodnoty **R** poloměru oblouku násobně větší (i pro nejhorší krajní případy - v dílně, v depu na vlečce). Prakticky větší o cca 1-2 řády. Navíc je využíváno vlastní drážní těleso s oblouky velkých poloměrů (tj. oblouky s $R < 300\text{m}$ jen výjimečně). Zatímco tramvaj ve staré zástavbě se musí běžně podřizovat pravoúhlé síti silničních komunikací s malými poloměry oblouků.

3.3.2 Vliv natočení otočného podvozku na nízkou podlahu

Uvažujme otočný podvozek (např. dle obr. 3.1c) v přímé koleji obr. 3.3.2a. Na podvozku (modrá barva) uvažujme otočný čep (bod **S**) a dva kritické body **A** a **C** – tj. vysoko umístěné komponenty podvozku (například vrchní části pojezdových kol atd.). Podélná vzdálenost od čepu je **V**, příčná **U**, celková vzdálenost **W** (kde platí $W^2 = V^2 + U^2$).

Červeně je naznačena maximální šířka průchozí uličky (pro zjednodušení uvažujeme jen zmíněné 2 kritické body a uličku s obdélníkovým půdorysem). V přímé koleji je značná vůle mezi šířkou uličky a kritickými body. Je-li vozidlo v oblouku (na obr. 3.3.2b je střed oblouku vpravo mimo obrázek⁴⁸), pak se článek otočí kolem čepu. Aby nedošlo ke kolizi v kritickém bodě **C**, musí být poloviční šířka uličky menší, nežli hodnota **U'** naznačená na obr. 3.3.2b. Z pravoúhlého trojúhelníku **SBC** zjednodušeně vyplývá: $U' = W \sin(\delta - \alpha)$ (3.3.2a)

Tedy šířka uličky:
$$2 \cdot U' = 2 \cdot \sqrt{U^2 + V^2} \cdot \sin(\operatorname{atg}(\frac{U}{V}) - \alpha) \quad (3.3.2b)$$



Podvozek dle obr. 3.1b vede na stejný výsledek – dvojitý otočný čep je však až uprostřed podvozku (tj. narůstá hodnota vzdálenosti **V**). Rovněž tak i otočný podvozek ostatních konstrukcí (zde se zejména jedná o obr. 3.1a a 3.1g)⁴⁹.

V reálném případě je samozřejmě nutno vyšetřovat větší množství kritických bodů, dosažitelný maximální tvar průchozí uličky není obdélníkový a zejména je nutno počítat s vůlemi (vypružení, dynamické chování atd.).

⁴⁸ Jinak úhel natočení podvozku vůči skříní α – tj. úhel mezi tečnou kružnice (cca osa podvozku) a sečnou kružnice (osa článku) odpovídá kap.3.3.1.

⁴⁹ Zde je rozdíl v tom, že skříň není nad podvozkem zalomená (není zde kloub – tj. naznačená horní část uličky směřuje vlevo tj. ven z oblouku).

Zjednodušeně lze uvést, že velké omezení šířky průchozí uličky - tj. naroste plocha, která by měla být pokryta sedadly (pokud by měla být užitečně využita), souvisí s případy, kdy jsou tyto kritické body příliš blízko sebe (tj. blízko podélné osy vozidla) a pokud jsou tyto body příliš daleko od osy čepu (tj. zde pak stejný úhel natočení α na velkém rameni V znamená větší příčný pohyb a nutnost výrazněji snížit šířku uličky).

3.3.3 Kvantitativní posouzení vlivu natáčení

Provedme přibližné výpočty tohoto vlivu dle obr. 3.3.2b na šířku uličky. Uvažujeme podvozek s úhlem natočení podvozku α až $\pm 12^\circ$. Jako kritické body uvažujeme pouze omezení od velikosti rozkolí vozidla (viz kap. 3.3.4 bod b). Normálně rozchodné dvojkolí (1435mm) má rozkolí 1350mm (tramvaje mají užší kola, pro obrys kola **PR-1** dle [E34] uvažujeme 1382mm). S ohledem na tolerance, vypružení a tloušťku konstrukce uvažujeme šířku uličku (pro „ideální případ“ – tj. kdyby se použily neotočné podvozky) zaokrouhleně hodnotu například 1300mm. A podobný rozdíl hodnot uvažujeme pro úzký rozchod 1000mm. Dále rovněž jednotně uvažujeme pojezdová kola o průměru 600mm z nichž by do úrovně nízké podlahy zasahovalo cca 500mm (proto musí být minimálně zde nad těmito koly zvýšená podlaha).

Rozchod	1435mm	1000mm
Neotočný podvozek (tj. 2U)	1300mm	865mm
Rozvor podvozku 1,5m + 2x 500mm (vliv kola do podlahy) V=1250mm (obr. 3.1a nebo obr. 3.1b)	730mm	325mm
Rozvor podvozku 1,5m -1m (vzdálenost čepů) + 2x 500mm V=750mm (obr. 3.1c)	957mm	533mm
Rozvor podvozku 1,5m -2m (vzdálenost čepů) + 2x 500mm V=250mm (obr. 3.1c)	1169mm	741mm
Rozvor podvozku 1,5m -1,5m (vzdál. čepů) + 2x 500mm V=0mm (obr. 3.1c)	1272mm	846mm
Jednonápravový podvozek 500mm (vliv kola do podlahy) V=250mm (obr. 3.1a)	1169mm	741mm
<i>Tab.3.3.3 Zúžení spodku skříně nad otočným podvozkem</i>		

Dle očekávání je nejhorší stav pro úzký rozchod (malé rozkolí) a velkou vzdálenost od otočného čepu. Pokud by to vedlo na nepřipustné omezení šířky průchozí uličky nebo k nevýhodnému zúžení nízko uložené podlahy pro stojící cestující (a odpovídající vyvýšené části podlahy, které již není vhodné nebo možné účelně využít pro umístění sedadel), pak je nutno zvážit varianty vylepšení této situace (viz následující kapitoly 3.3.4 a 3.3.5).

3.3.4 Omezení negativních vlivů natáčení podvozku

Pokud je nutno zredukovat negativní vlivy omezení šířky nízké podlahy vlivem natáčení podvozků (tj. dle obr. 3.3.2a), pak je se nabízí tato řešení:

- a) Omezit úhel otáčení podvozku α lze jen do jisté míry (například zakázat průjezd ostrými oblouky, zkrátit délku mezi klouby, více kloubů, případně více podvozků), případně omezit natáčení některých podvozků (tlumení pohybů některých kloubů, nastavení dorazů a tuhostí vratných pružin atd.). Omezená otáčivost podvozku se může projevit nejen minimalizací negativních vlivů uvedených v kap. 3.3.2 ale i případným umožněním redukce komponent pro spojení podvozku se skříňí vozidla (a případně až přechodem k neotočnému podvozku).
- b) Příčnou vzdálenost U kritických bodů na podvozku nelze od jisté hodnoty již dále snižovat. Podaří-li se vytěsnit kritické komponenty (včetně pohonu – tj. viz např. obr. 2.7c až 2.7e) z prostoru uprostřed podvozku tj. například až za pojezdová kola, stále zde zůstává vnitřní rozměr mezi těmito koly (tj. stále zde zůstává rozměr rozkolí – a to i pro uspořádání bez dvojkolí dle obr. 2.7d a 2.7e).
- c) Možnosti snížení podélné vzdálenosti V kritických bodů od otočného čepu – toto je řešeno odděleně v následující kap. 3.3.5.

3.3.5 Omezení vzdálenosti od otočného čepu

Podélnou vzdálenost V od otočného čepu (dle obr. 3.3.2a) lze snížit pomocí:

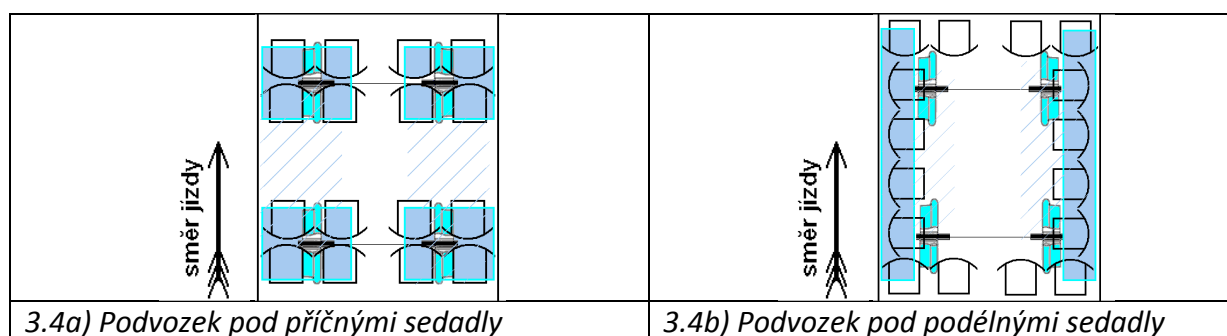
- a) Jakobsova podvozku s dvěma otočnými čepy (obr. 3.1c) s velkou vzdáleností mezi nimi – to však vede na dlouhou konstrukci přechodového měchu – což znamená jednak další snížení plochy podlahy (měch je zevnitř užší nežli skříň), využitelnosti podlahy (pod měchem zřejmě nebudou umístěna sedadla – proto vyvýšené části podlahy jsou zde prakticky nevyužitelné) a snížení objektivního i subjektivního komfortu (cestující stojící pod měchem, případně na hraně točny).
- b) Čepů (resp. kloubů) pro uchycení zavěšeného článku umístěných ve velké vzdálenosti - až za uvažovanými kritickými body (tj. podélná vzdálenost V dosáhne záporné hodnoty) tím se v podstatě přejde na uspořádání dle obr. 3.1d a proto tento vliv dle obr. 3.3.2a pomine a není nutné jej řešit. Prostor nad podvozkem je pak vhodný řešit jako další článek (okna, sedadla nad podvozkem atd.).

- c) Zkrácením délky dvojnápravového podvozku (tedy z hlediska jeho nejvyšších částí). Pokud jde o vzdálenost pojezdových kol (tj. použít kratší rozvor), pak to může vést na zhoršení chodových vlastností vozidla, resp. na nepovolené namáhání traťového svršku vysokou hmotností soustředěnou na poměrně krátké vzdálenosti náprav od sebe (nedodržen minimální rozvor podvozku).
- d) Použitím jednonápravového podvozku (a tedy pak je zajistit chování tohoto podvozku – tj. například konstrukce pro vozidla kap. 5.8 a kap. 5.11.2).
- e) Použitím podvozku s kombinací kol s velkým průměrem (hnacích) kol a malých kol plnicích především funkci vhodného vedení podvozku (viz kap. 5.11.1).

3.4 Vliv uspořádání sedadel na vhodný tvar podvozku

Pokud má být podlaha účinně využita pro cestující je nutno přihlédnout i k uspořádání sedadel ve vozidle (neboť jen pod nimi by se měly nacházet vyvýšené části podlahy). Tím lze dospět k „ideálnímu“ tvaru vrchních částí podvozku.

Na obr. 3.4a jsou nad dvounápravovým podvozkem příčně umístěna sedadla. Z podvozku tak (kromě pojezdových kol – na obr.3.4 modrá barva) mohou být vyvýšeny ještě prostory v okolí kol - tj. v podstatě v rozích podvozku (a případně slabě vyšrafované plochy) – viz např. 2.8e. Nevýhodou je úzká ulička (málo místa pro stojící cestující), problematický přístup na krajní sedadla (jsou-li obsazena vnitřní sedadla) a v případě úzké skříně vozidla (tj. pro některá úzkorozchodná vozidla) nebude možno použít dvousedadla (tj. vyvýšené plochy by měly být menší a zřejmě se ani nepodaří využít ani plochy nad pojezdovými koly).



V případě (méně častého) podélného umístění sedadel lze využít i prostory u bočnic - viz obr.3.4b (a příklad realizace obr. 5.7.1fg). Nevýhodou je však nižší ergonomie sedících cestujících (zejména vyšší namáhání páteře cestujících vlivem brzdných sil).

4 Aspekty trakčního pohonu

4.1 Uvažované rozhodující komponenty

Pro současný trakční pohon uveďme především následující komponenty :

- a) Přístroje a další zařízení na straně troleje (sběrač, hlavní vypínač, vstupní filtr přepětová ochrana atd.).
- b) Trakční měnič, jeho chlazení, řízení atd.
- c) Elektrodynamická brzda (zejm. brzdový odpor a jeho chlazení).
- d) Trakční motor a následující mechanické komponenty (převodovka, pružná spojka/hřídele, případně vypínatelná spojka, vlastní hnané pojezdové kolo – obvykle jako součást dvojkolí), čidla, přívody k motoru (silové kabely, chlazení)
- e) Prostředky k chlazení motoru (filtr vzduchu, ventilátor, případně výměník tepla pro kapalinové chlazení a další příslušné komponenty)
- f) Další pomocné pohony (baterie, její nabíječ, příslušenství brzdy, topení a větrání pro cestující a pro řidiče atd.)

Dále je nutno zmínit i další komponenty obvykle umístované v podvozku - zejm.:

- g) Další systémy brzd (kromě EDB) - tj. kolejnicová, kotoučová atd.
- h) Vlastní konstrukce podvozku (tj. podélníky příp. i příčné)
- i) Nápravy (nebo nápravnice) a upevnění kol (ložiska, primární vypružení atd.), případně mechanická vazba k zajištění radiálního natočení náprav v oblouku [E6]
- j) Propojení podvozku se skříní – sekundární vypružení, tlumiče, příp. kolébka a otočný čep (jde-li o podvozek otáčivý)
- k) Komponenty pro přenos sil, pískování kol, mazání okolků, blatníky atd.

S ohledem na zaměření tohoto textu (tj. konstrukce nízkopodlažních tramvají) bude pozornost věnována především problematice umístění trakčního motoru atd. (bod d) a nejobjemnějším souvisejícím mechanickým komponentům v podvozku (tj. h až j). Ostatní komponenty pohonu předpokládáme umístěné v prostorech, které nejsou kritické z hlediska uspořádání podvozku (tj. u nízkopodlažních vozidel) komponenty dle bodů a,b,c,f na střeše a chlazení motoru (bod e) rovněž na střeše, resp. jinde - ale tak aby to nemělo vliv na realizaci nízké podlahy). Z hlediska vlivu na uspořádání podlahy (nízkopodlažnost) jde zejména o

pojezdová kola (a pro konstrukce dle obr. 2.7bc náprava resp. dle obr. 2.8d nápravnice), sekundární vypružení (a pro otočné podvozky případně i otočný čep a kolébka) a dále motor, převodovka atd.

4.2 Prostory vhodné pro umístění rozhodujících komponent

Pokud nemá dojít vlivem realizace nízkopodlažnosti k výrazné⁵⁰ redukci užité podlahové plochy, pak se nabízejí k dispozici tato řešení:

- A) Pod nejnižší části podlahy vozidla – tj. pod úrovní nástupní výšky (neboť dveře nad podvozkem jsou pouze výjimečně, nemá smysl toto uvažovat).
- B) Pod úrovní průchozí uličky v místě nad podvozkem (viz obr. 2.7b) – pokud je podlaha šikmá, je to výše nežli v předchozím bodu.
- C) Pod vyvýšenými částmi podlahy (např. viz obr. 2.7c) – takto vyvýšené části by pak měly být účelně využity pro umístění sedadel.
- D) V místech, která nelze využít pro cestující – tj. např. u přechodových měchů – jako je tomu například u vozidla **ULF** (v portálech), viz kap. 5.8.
- E) Na začátek vozidla (tj. pod stanovištěm řidiče je podvozek nebo jeho komponenty vysunuté před vozidlo⁵¹).
- F) Na konec vozidla (pro obousměrná vozidla dtto jako E, pro jednosměrná vozidla lze vzadu umístit sedadla jako širokou lavici přes celou šířku vozidla⁵²).

Ještě je možné rozumě akceptovat následující umístění:

- G) Pod zvýšenou podlahou v místech, které netvoří průchozí uličku, ale jsou využita pro nohy zde sedících cestujících (např. mezi sedadly, nebo jsou-li použita podélná sedadla - viz obr. 5.7.1f, pak se jedná i o větší souvislé vyvýšené plochy).

Avšak dále je nutno uvést, že u některých vozidel se lze setkat s umístěním komponent, které však již podstatně zmenšují užitou podlahovou plochu:

⁵⁰ K jisté redukci však dojde prakticky vždy - viz například velmi často používané uspořádání dvou dvousedadel proti sobě (jako „poloviční kupé ve vlaku“), které je výhodné z hlediska překrytí prostoru nad podvozkem ale nikoliv z hlediska dosažení vysoké kapacity ani z hlediska komfortu pro cestující (pro jednosměrná vozidla je ergonomicky vhodnější sedět čelem směrem k přední části vozu).

⁵¹ Pokud je to povoleno – např. z hlediska překročení povolené délky vozidla, vybočení v obloucích atd.

⁵² Případně pokud by bylo možno přehradit takto vozidlo i uvnitř (což je opět velmi neobvyklé).

- H) V rozšířených bočnicích vozidla (viz např. obr. 5.5.1b), případně i jinde (např. neúměrně zvětšené vyvýšené stanoviště pro řidiče atd. resp. extrémní případ viz kap. 5.11.2, kde je pro umístění pohonu obětována značná podlahová plocha).
- I) V okolí sedadel, avšak v takovém rozsahu, že vyvýšená plocha je větší, nežli je využito pro použitá sedadla⁵³.

4.3 Aspekty použití běžných podvozků a běžných náprav

V kapitole 2.3 odstavce c) a d) byla uvedena možnost použití běžných podvozků, resp. náprav⁵⁴ za účelem dosažení většího podílu nízko umístěné podlahy (resp. až k dosažení plné 100% nízkopodlažnosti). Nevýhodou je zde:

- a) Snížení adhezní hmotnosti vozidla (tj. nižší dosažitelná tažná síla a s tím související nižší maximální hodnoty zrychlení a to zejména při rozjezdu do stoupání).
- b) Menší možnosti zálohování (tj. při poruše by případně vozidlo nemuselo být schopno překonat nejnáročnější úseky bez pomoci dalšího vozidla).
- c) Při požadavku na stejný výkon nutnost instalovat vyšší výkon do motorů u „zbývajících trakčních náprav“ (což by případně mohlo vést i na komplikace prostorových poměrů u těchto zbývajících trakčních náprav).
- d) Větší podélné síly přenášené ze zbývajících trakčních náprav (resp. mezi jednotlivými vozidly – s ohledem na povinné dimenzování není tolik podstatné).
- e) Při častém používání intenzivního brzdění větší opotřebení mechanických brzd u běžných náprav (chybí motor – nelze zde použít EDB).
- f) Větší sortiment náhradních dílů k příslušnému typu (ačkoliv u mnoha koncepcí jsou podvozky běžné odvozeny a typizovány s podvozky trakčními, se shodnými díly - výjimkou je např. menší průměr běžných kol atd.).

Na druhou stranu je nutno přiznat, že toto řešení přináší výhody nejen z hlediska prostorových poměrů v okolí kritických míst (např. u Jakobsova podvozku obvykle použitého uprostřed vozidla, kde je nízká podlaha), ale obvykle i na úsporu nákladů při výrobě a při údržbě vozidla (nižší počet komponent byť s vyššími instalovanými výkony).

⁵³ Tedy například protože použití dvousedadla by velmi zúžilo průchozí uličku, pak je použito jednoduché sedadlo, které je užší nežli okolní vyvýšenina. Nebo jde o použití jednoduchého sedadla o větší šířce (opět obtížně využitelná plocha), větší podélné vzdálenosti mezi sedadly (což se „skrývá“ např. pod šikmým vysokým opěradlem, silné čalounění atd.). Sedadla umístěná ve velké vzdálenosti od bočnic atd.

⁵⁴ Resp. nosných podvozků, resp. náprav bez pohonu a případně i s menšími průměry pojezdových kol.

4.4 Aspekty použití motoru pro více kol

4.4.1 Skupinový pohon

Pohon jedním společným motorem pro několik náprav obvykle vede na větší konstrukční složitost mechanické části (převody). U „novějších“ vozidel – a tím spíše u tramvají se lze setkat s použitím skupinového pohonu jen ojediněle (viz např. kap. 5.11.2). Za skupinový pohon lze však považovat i koncepci tzv. podélného dvojkolí (tj. viz kap. 5.6) – toto uspořádání však má i mnohé vlastnosti kolového pohonu (viz kap. 4.4.3).

4.4.2 Individuální pohon pro dvojkolí

Pohon jedním společným motorem pro jedno dvojkolí je v elektrické trakci (a to i u tramvají) nejčastější uspořádání. Výhodou je jednodušší mechanická konstrukce, použití několika „nezávislých“ jednotek (zálohování, dříve možnost řazení skupin pro dosažení několika hospodárných stupňů) a možnost odděleného řízení tahu jednotlivým nápravám pro účely plného využití adhezní hmotnosti (tj. využití čistícího efektu pro zadní dvojkolí a respektování případného klopného momentu).

V některých případech se zde lze setkat s „mezistupněm“, kdy individuální motory pro každou nápravu jsou napájeny z jednoho společného měniče (u stejnosměrných motorů obvykle řazený do sériově spojené „motorové skupiny“, při použití střídavých motorů střídač napájí vinutí několika strojů připojená paralelně – např. obr. 5.4f).

4.4.3 Samostatná kola a kolové pohony

Jsou-li místo dvojkolí použita samostatná kola (viz obr. 2.7de), pak tato dvojkolí mohou být buďto propojena mechanickou vazbou (několik převodovek, příčný hřídel atd. – viz obr. 5e, kap. 5.5), pak z hlediska pohonu jde v podstatě o velmi podobné chování stejně tak jako by šlo o dvojkolí. Nebo tato mechanická vazba převodovkami mezi pojezdovými koly není realizována – a pak se jedná (do jisté míry) o nezávislé kolové pohony (pro každé pojezdové kolo vlastní pohon a mechanická vazba mezi nimi jen prostřednictvím adheze).

Kolový pohon se jeví jako velmi lákavé řešení – díky redukci mechanického propojení a možnosti elektrického řízení tahu vozidla odděleně na levé a pravé straně vozidla (zejména pro vozidla silniční, terénní, pásová a sportovní jako elektronická náhrada diferenciálu, která velmi vylepší zatáčení vozidel do ostrého oblouku). V případě kolejových vozidel je však

nutno respektovat vliv tohoto uspořádání jednak na chování při jízdě po rovné trati (viz kap. 4.4.5) a dále na chování při jízdě do oblouku (viz kap. 4.4.6) – například v kontextu s vlastnostmi chování klasického železničního dvojkolí (viz kap. 4.4.4).

4.4.4 *Chování klasického železničního dvojkolí*

Klasické železniční dvojkolí⁵⁵ je vybaveno kuželovitými koly (resp. u novějších konstrukcí jiným složitějším profilem, např. **UIC-ORE**), což zajistí při jízdě po rovné koleji známý vlnivý pohyb dvojkolí (viz např. kap. 2.5.3 v [2]).⁵⁶ Výhodou tohoto pohybu je jednak samoregulační schopnost tohoto uspořádání (tj. dvojkolí se samo nasměruje do cca ideálního směru⁵⁷), tak i pozitivní vliv na opotřebení kola.

V případě jízdy do mírného oblouku by ideální pohyb měl probíhat tak, že na vnější kolejnici by se mělo jet po styčné ploše s větším poloměrem kružnice (větší dopředná rychlost při stejné rychlosti točení) nežli na vnitřní - to zajistí jízdu do oblouku bez vzniku tření mezi koly a kolejnicí. Nasměrování do tohoto směru opět probíhá na principu vlnivého pohybu okolo této ideální trajektorie (tj. dvojkolí přejde do tohoto směru „samostatně“).

V extrémním případě (velmi ostré oblouky, nedokonalá geometrická poloha koleje atd.) tento děj není ideální a případně by mohlo dojít až k tomu, že dvojkolí se vychýlí až o tolik, že se bočně opře okolkem o kolejnici (což vede na vyšší opotřebení a známý „skřípavý“ zvuk pro nedokonalý průjezd obloukem). Tyto negativní jevy se nouzově omezují mj. použitím mazání okolku nebo kolejnice, upevněním odtlačné kolejnice atd.

4.4.5 *Podvozek se samostatnými koly v přímé koleji*

Toto je stručně znázorněno např. v kap. 2.5.3 v [2]. Kromě vlivu pouze mechanické části podvozku je chování rovněž ovlivněno i použitým způsobem regulace těchto pohonů – tj. zdali regulace těchto kolových pohonů zajistí jen základní funkci jízdy kol vpřed (tj. aby regulace nezpůsobila nesprávné chování např. vlivem vzpříčení náprav, nerovnoměrného

⁵⁵ U tramvají je situace poněkud (tj. horší) odlišná – kap. 4.4.4 je zde uvedena pro porovnání.

⁵⁶ Zjednodušeně jde o to, že dvojkolí nejede rovně přímce, ale po cca sinusové trajektorii. Tedy pokud na jedné kolejnici (např. na pravé straně) je styčná plocha kola s kolejnicí vychýlená od osy koleje (tj. pokud je toto dvojkolí vybočeno vpravo od přímého směru), tak se zde najede se na větší poloměr kužele pravého kola a tím (při stejné otáčivé rychlosti obou kol dvojkolí na stejné hřídeli) zde naroste dopředná rychlost tohoto kola. Dvojkolí tím provede jízdu po mírně levotočivém oblouku – čímž dojde k vycentrování polohy vůči středu koleje. Navíc dojde k „překmitu“ na druhou (levou stranu) a tím se celý děj opakuje.

⁵⁷ Resp. dochází k vlnivému pohybu okolo tohoto ideálního směru.

zadávání tahu atd.) nebo zdali je zajištěno i vhodné chování kol ve smyslu náhrady výše zmíněného vlnivého pohybu dvojkolí a minimalizace opotřebení kol.

4.4.6 Jízda v oblouku

V případě tramvaje jsou použity poněkud užší kola (tj. viz výše uvažovaná kuželovitost pojezdových kol) a navíc oblouky mají podstatně menší poloměr. Oba tyto efekty tak mají za následek, že chod dvojkolí tramvaje nemá natolik kvalitní chování jako klasické železniční dvojkolí (viz kap. 4.4.4). To má jako následek vyšší opotřebení (kol a kolejnic) a další negativní efekty (hluk atd.). Z tohoto hlediska by se zřejmě mohlo jevit jako vhodné řešení využít výhod „elektronického diferenciálu“ - tj. použít kolové pohony s vhodným řízením.

Opět je tedy nutno pro kolové pohony řešit chování pojezdu v kontextu a se znalostí zde použitých řídicích algoritmů. Do této zde míry tato problematika nebyla řešena (s tím, že lze předpokládat značné problémy při zjišťování těchto detailních informací od jednotlivých výrobců). Z hlediska veřejně dosažitelných neoficiálních informací však vyplývá, že i u mnohých světových výrobců zatím ne vždy došlo k vylepšení chování kolových pohonů oproti klasickému uspořádání s dvojkolími⁵⁸ a i přední výrobci dodnes realizují propojení volných kol pomocí mechanických převodů (viz např. kap. 5.5).

4.5 Druh motoru

Z hlediska zde sledovaných konstrukcí lze stručně shrnout toto:

- a) Většina zde řešených konstrukcí je teoreticky nezávislá na druhu použitého motoru, pokud bude vhodně řízen, napájen a respektovány jeho možnosti z hlediska dosažitelných parametrů (zejm. moment).
- b) Použití pohonu se stejnosměrným motorem je prakticky omezeno jen na historicky nejstarší konstrukce (prakticky jen do 90-tých let, dnes jen rekonstrukce). To je dáno jeho dnes vyšší cenou a většími rozměrovými nároky pro motor (při srovnatelném výkonu), podružné aspekty (ve smyslu vyšších nároků na údržbu, požadavků na čistotu chladícího vzduchu atd.) by byly dnes řešitelné (pokud by bylo vhodné tento motor využívat).

⁵⁸ Avšak jsou veřejně známé informace o stížnostech na vyšší hluk (z čehož lze nepřímo dedukovat, že i zřejmě bude docházet i k nárůstu opotřebení), které jsou řešeny náhradními prostředky – například intenzivnější mazání okolků, používání úvratě místo otáčení soupravy na smyčce s ostrými oblouky (dříve běžně využívány staršími soupravami) atd.

- c) Některé speciální konstrukce (zejména použití pomaluběžných pohonů bez převodovky - viz např. kap. 5.10) vedou při současných požadavcích na omezené rozměry (jež jsou k dispozici) a na nutný instalovaný výkon (resp. moment) na nutnost použít motor speciálních konstrukcí – obvykle zde jde o PMSM, ojediněle lze dospět k informacím o výhledových možnostech použití jiných typů motorů – konkrétně například TFM (tj. PMSM s příčným polem), SRM atd.
- d) V ostatních případech převládá (zřejmě z hlediska cenových, možnosti odbuzení, odolnosti proti vnějším vlivům, chování při vnitřním zkratu a dalších poruchových stavech) použití vysokorychlostního asynchronního motoru s převodovkou.

4.6 Kvantitativní požadavky na trakční motor

Jako modelový příklad uvažujme vozidlo (například podobné vozidlu dle kap. 3.2.1) s parametry přepočítanými na jednu nápravu (uvažujeme všechny nápravy hnané): maximální hmotnost **7t**, výkon **70 kW**, maximální rychlost **70 km/h**, průměr kol **600mm**.

Při požadavku na využití adheze (například při uvažování koeficientu adheze **k=25%**) je maximální tažná síla na obvodu kol tohoto dvojkolí:

$$F_{\max F1} = g \cdot m \cdot k = 9.82 \cdot 7000 \cdot 0,25 \text{ N} = 17,185 \text{ kN} \quad (4.6a)$$

Pokud bude průměr kol **0,3m**, pak je odpovídající moment na nápravě:

$$M_{\max F1} = F_{\max 1} \cdot R = 5,16 \text{ kNm} \quad (4.6b)$$

Což je pro asynchronní trakční motor vhodných rozměrů velká hodnota.⁵⁹ Pokud budeme uvažovat převodovku s převodem cca **1:7**, pak bude dostačovat moment motoru cca **780Nm** (při uvažování např. dvojnásobného momentového přetížení při rozjezdu).

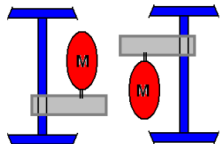
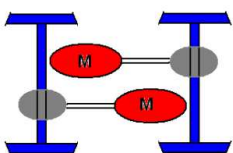
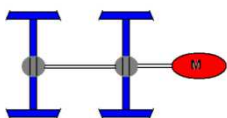
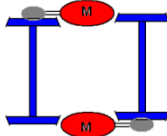
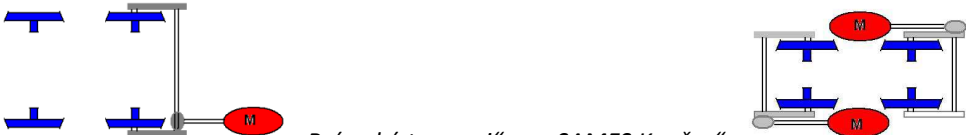
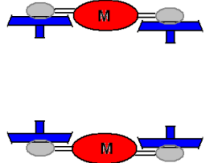
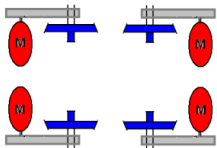
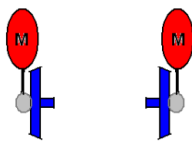
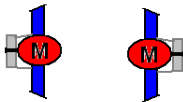
A pro plnou rychlost uvažujme rychlost vozidla získáme otáčivou rychlost pojezdového kola : $n_{\max V} = (V_{\max} / 3,6) / R \cdot 60 / 2\pi = 619 \text{ ot/m} = 10 \text{ ot/s}$ (4.6c)

Převodovka rovněž změní i otáčivou rychlost. Při převodu **1:7** bude rychlost motoru o rovněž realizovatelné hodnotě cca: $n_{\max VMot} = 4333 \text{ ot/min}$. Hmotnost uvažovaného asynchronního motoru pak řádově cca **300kg** (při vlastním chlazení).

⁵⁹ Tedy pro použití bezpřevodového motoru (rozumné velikosti) by bylo nutno použít například SMPM.

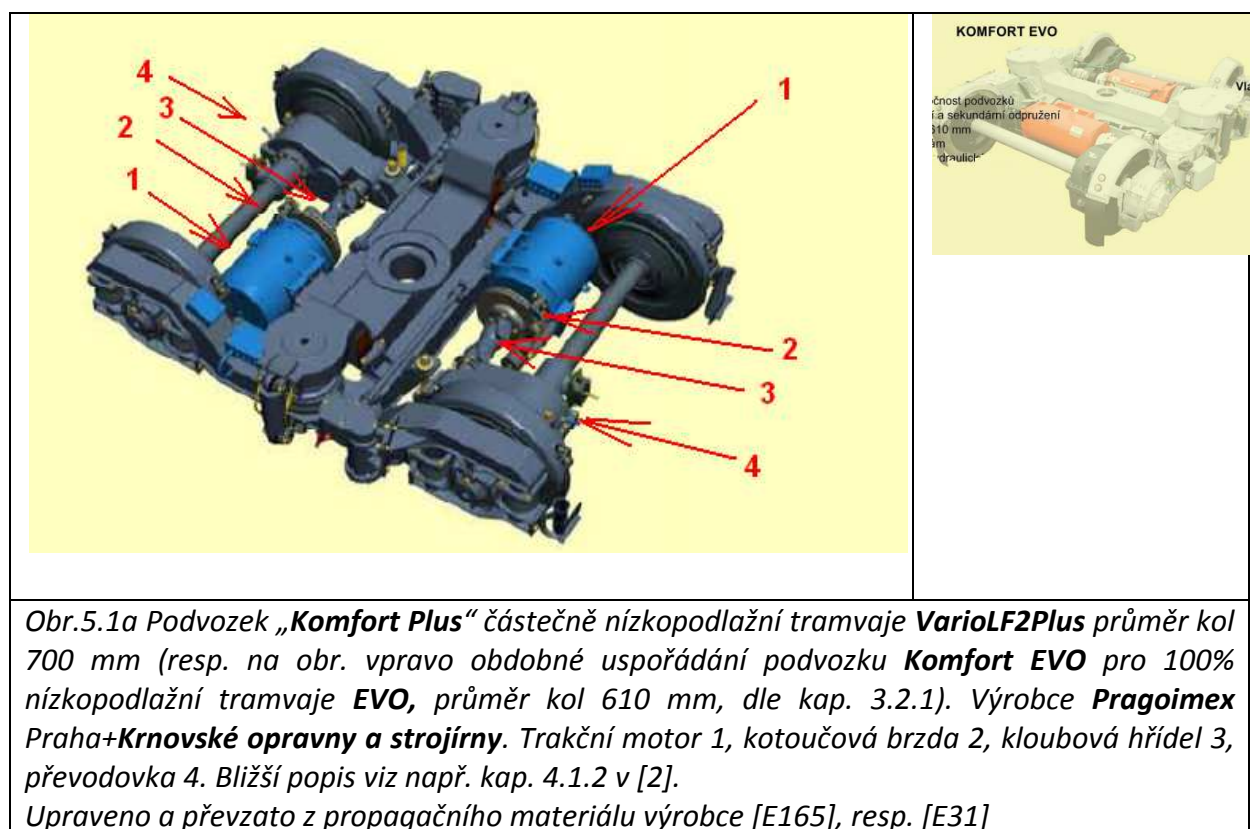
5 Konkrétní příklady konstrukcí podvozků

Z hlediska uspořádání mechanické části pohonu lze použít například třídění dle Tab. 1-1 v [2] a kap. 1.1.2 až kap. 1.1.3 v [2]. Zde (s ohledem na to, že jsou sledovány aspekty a možnosti optimalizace rozměrů pro účely dosažení nízkopodlažnosti) provedme rozdělení zde uvedených konkrétních příkladů uspořádání podle následujícího obr. 5. Zde je pro každou základní verzi schematicky naznačeno umístění motoru, převodovky a vazby na dvojkolí (resp. samostatná kola, pokud nejsou uspořádány do dvojkolí – viz obr.5e až 5j). Na obr.5a až 5g je pro příslušné varianty znázorněno půdorysné uspořádání dvounápravového podvozku a na obr.5h až 5j je příčný řez vozidlem (pohled zepředu).

 5a) Dvojkolí a motor mají rovnoběžné osy (kap. 5.1)	 5a) Dvojkolí a motor kolmo, motor uvnitř v podvozku (kap. 5.2)
 5c) Dvojkolí a motor kolmo a motor(y) umístěn(y) mimo podvozek (kap. 5.3)	 5d) Dvojkolí a motor kolmo, motor na boku podvozku (kap. 5.4)
 5e) Motor pro dvě samostatná kola vedle sebe, propojeny mechanickými převody (kap. 5.5)	
 5f) Motor pro samostatná kola za sebou „podélné dvojkolí“ (kap. 5.6)	 5g) Kolový pohon – motory jsou uloženy rovnoběžně s osou kola (kap. 5.7.1) nebo kolmo (kap. 5.7.2)
 5h) Kolový pohon – motor svisle (kap. 5.8)	 5i) Kolový pohon – motor i převodovka umístěny v kole (kap. 5.9)
 5j) Kolový pohon – pomaluběžné motory bez převodovky (kap. 5.10)	

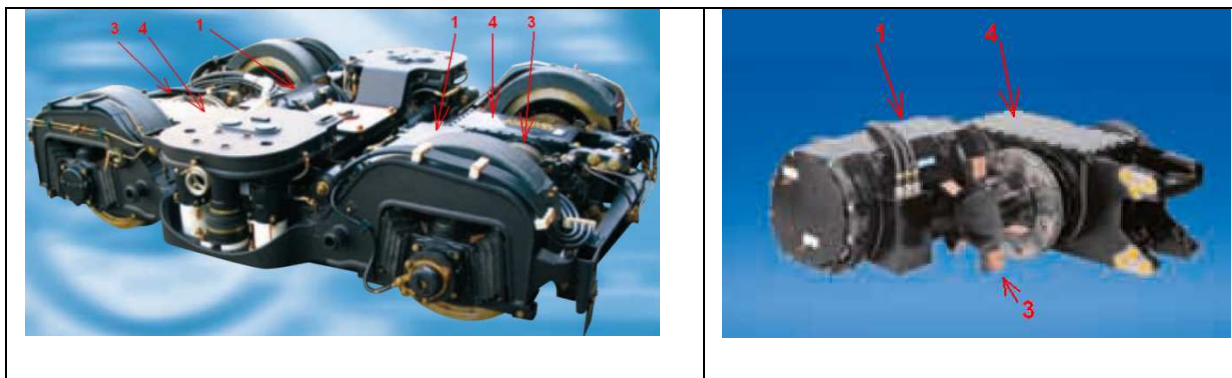
5.1 Dvojkolí a trakční motor – osy rovnoběžné

Jedná se o nejčastější (a tedy zřejmě i technicko-ekonomicky nejvhodnější) uspořádání u kolejových vozidel (zejm. pokud jde o vozidla železniční). Jiné varianty uspořádání (viz další kapitoly) tak přichází v úvahu až v případě, že toto uspořádání z nějakého důvodu nevyhovuje (například z důvodu požadavků na minimalizaci rozměrů – tak jak je tomu u některých nízkopodlažních tramvají atd.). Proto jsou následující varianty realizace porovnávány s tímto „klasickým referenčním“ uspořádáním podvozku - ačkoliv toto uspořádání podvozku (podobně jako kap. 5.2) se pro své rozměry (velká výška v centrální části podvozku) ne vždy jeví jako příliš vhodné pro použití u 100 % nízkopodlažních tramvají.



Pro mnohé konkrétní varianty realizace viz bližší popis - např. v [2] viz kapitoly 1.1.2.1 až 1.1.2.7 (pokud jde o možnosti tohoto uspořádání obecně – a zejména řešení pro vozidla větších výkonů a pro větší rychlosti) a zejména kapitoly 4.1.3 až 4.2.3 v [2] (z pohledu konkrétních variant realizací podvozků využitých pro tramvaje).

Tato uspořádání obvykle obsahují (bez ohledu na pořadí⁶⁰) trakční motor, pružnou „spojku“ (resp. kloubovou hřídel), převodovku (obvykle pouze s jedním čelním převodem) a další komponenty (například mechanická brzda atd.).



*Obr.5.1b Podvozek „SF70“ částečně nízkopodlažní tramvaje **Avanto S70**, výrobce **Siemens**. Vpravo detail pohonu (1 = asynchronní TM, 3 = dutá kloubová hřídel okolo nápravy, 4=převodovka). Průměr kol 660 mm. Bližší popis viz kap. 4.2.3 v [2]. Upraveno a převzato z propagačního materiálu výrobce [E37] a [139].*

Tato varianta uspořádání podvozku je často používána pro vozidla částečně nízkopodlažní (podobně jako varianta popisovaná v následující kap. 5.2) avšak lze dohledat i použití pro vozidla 100% nízkopodlažní (viz např. obr. kap. 3.2.1 a 5.1a).

Následující kapitoly však popisují „modernější“ uspořádání, kde jsou obdobné komponenty realizovány v méně vhodném provedení (například převodovka s převodem kuželovým, případně i hypoidním nebo dokonce planetová převodovka, nutnost použít několika převodů nebo několika převodovek, omezení rozměrů pro pružící elementy atd.).

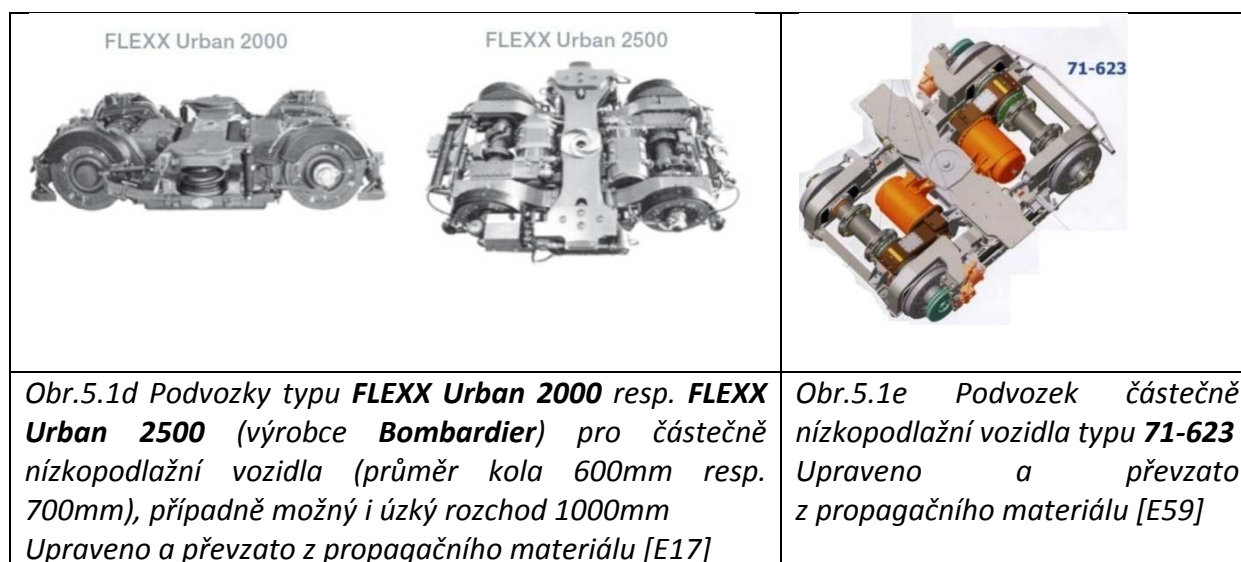


⁶⁰ U některých variant (viz např. kap. 1.1.2.6 v [2]) v „přehozeném pořadí“ – tj. v uspořádání motor + převodovka (a pak teprve pružná kloubová hřídel), resp. bez pružného elementu mezi motorem a nápravou (viz např. tlakové uspořádání – viz např. kap. 1.1.2.2 v [2]) nebo bez převodovky (viz např. přímý pohon dle kap. 1.1.2.1 v [2])



*Obr.5.1c Neotočný podvozek částečně nízkopodlažní tramvaje **14T** výrobce **Škoda**. Průměr kol 610mm, 50% nízké podlahy, nástup do nízkopodlažních částí vozu 350mm (tj. větší nástupní výška jen u prvních a posledních dveří). Na prvních dvou obrázcích (str.35) jsou pro srovnání v pozadí původní podvozky z tramvají **T3** (viz kap. 5.2). Převzato z [E167]*

Konkrétní příklady vozidel jsou uvedeny v popiscích k obr. 5.1a, 5.1b. Zejména zde jmenujme například částečně nízkopodlažní vozidla Astra, Anitra, Vektra (viz kap.4.2.1 v [2]) výrobce Škoda⁶¹ resp. Inekon⁶² vybavené neotočnými podvozky⁶³ (resp. viz obr. 5.1c – typ **13T, 14T, 16T, 19T** výrobce Škoda) nebo otočné podvozky (5.1e) pro částečně nízkopodlažní tramvaje typu **71-623** (výrobce „Ust'-Katovská vagónka S.M.Kirova“) a pro částečně nízkopodlažní tramvaje výrobce Bombardier některých řad typu FLEXX Urban (5.1d).



⁶¹ Tedy pod označením výrobce **03T** (Astra a Anitra), **05T** (Vektra), **06T** (Elektra rozchod 950mm Cagliari), **10T** (export do USA a původně licenční výroba v USA, [E145]).

⁶² Pod označením výrobce **Trio**, **Inekon 04 Superior**, **Inekon 11 Pento** [146]

⁶³ Resp. jde o podvozky s omezeným úhlem natočení ($\pm 2^\circ$).

5.2 Dvojkolí a trakční motory - osy kolmé, motor uvnitř podvozku

Pro kompaktnější uspořádání podvozku (resp. pro umožnění lepších chodových schopností i při horších stavech trati – tj. například pro umožnění větší pružnosti podvozku a vhodnější rozměrové poměry pro pružící elementy atd.) se v některých případech používá uspořádání koncepčně obdobné předcházející kapitole 5.1 – avšak trakční motor je v podvozku umístěn podélně – tj. kolmo k ose nápravy. Výhodou je pak například možnost využít delších konstrukčních rozměrů mezi motorem a poháněným dvojkolím - tj. například delší kloubový hřídel pro „větší pružnost“ (a dále možnost umístit sem na tento hřídel komponenty mechanické brzdy atd.).

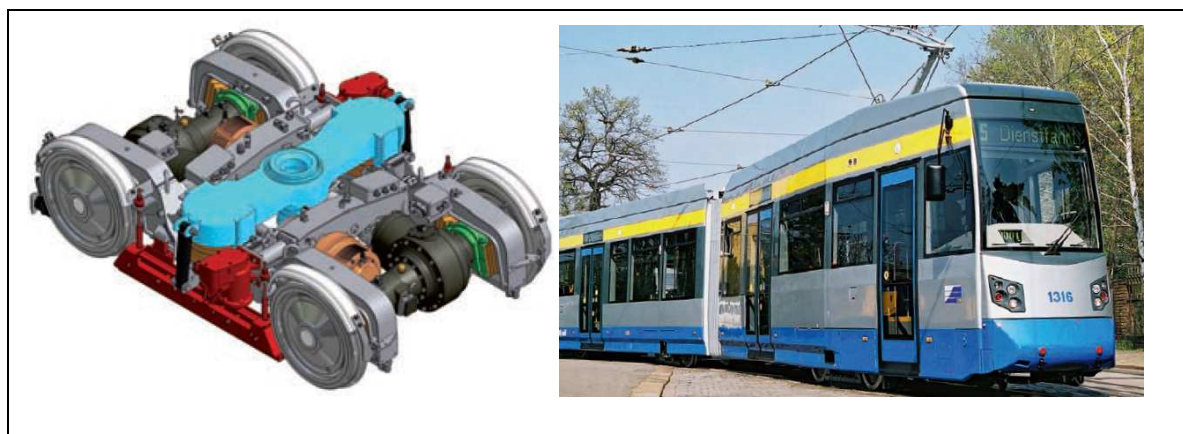
Nevýhodou (oproti předcházejícímu uspořádání dle kapitoly 5.1) je zde převodovka s kuželovým převodem a u některých vozidel (například časté provedení tramvají typu **T3**⁶⁴) dokonce převodovka s hypoidním převodem. Využitelnost pro plně nízkopodlažní vozidla je i zde rovněž velmi omezená (a zde je toto uspořádání uvedeno zejména pro porovnání s následujícími kapitolami 5.3 a 5.4).



*Obr.5.2a) Podvozek „Komfort“ (výrobce **Pragoimex**) pro modernizaci vozidel **T3** atd. Průměr kol 700mm. Trakční motor 1, kotoučová brzda 2, pod odpruženou kolébkou vede kloubový hřídel 3 (s podélnou osou – tj. kolmo k nápravě), na nápravě převodovka 4. Bližší popis viz např. kap. 4.1.2 v [2]. Upraveno a převzato z [E164]*

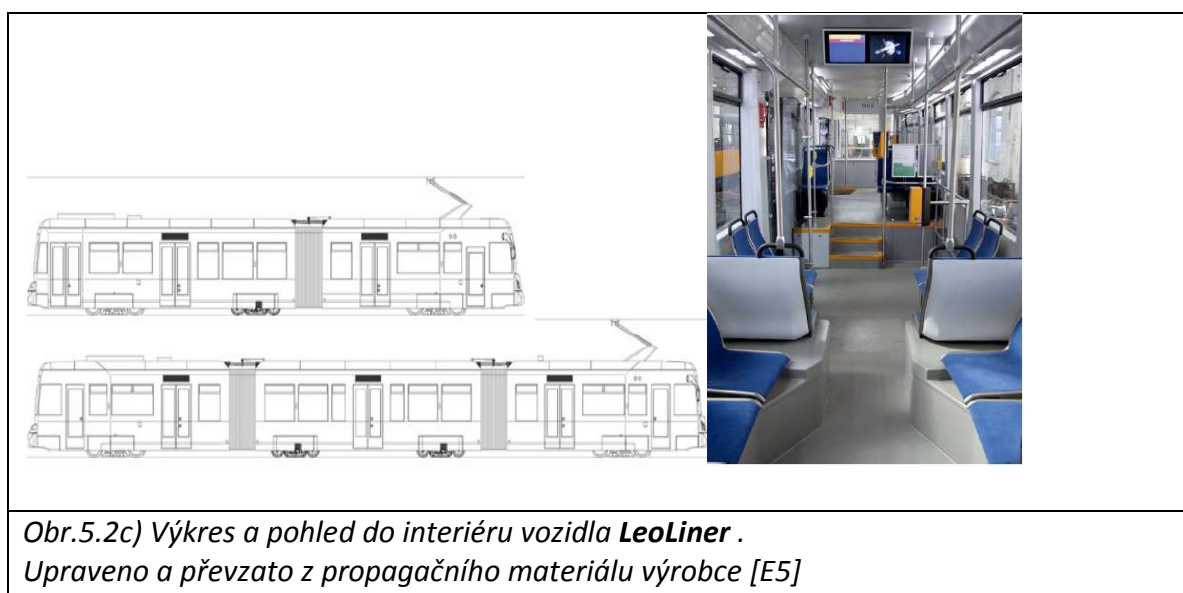
Jako příklad částečně nízkopodlažního vozidla zde uvedme vozidlo **LeoLiner** (výrobce HeiterBlick GmbH - joint venture of KIROW Leipzig KE).

⁶⁴ Původní podvozek vozů **T3** viz např. obr.5.1b zde a kap.4.1.1 v [2].



*Obr.5.2b) Podvozek a pohled na vozidlo **LeoLiner**.
Převzato z propagačního materiálu výrobce [E5]*

Vozidlo má otočné podvozky průměr hnacích kol 700mm (běžné povozky 550mm), cca 70% nízké podlahy ve výšce 350mm až 475mm (vysoká podlaha 900mm), nabízené rozchody kol 1000mm, 1435mm a 1458mm, výkon trakčního motoru 105kW (na každou hnanou nápravu).



*Obr.5.2c) Výkres a pohled do interiéru vozidla **LeoLiner**.
Upraveno a převzato z propagačního materiálu výrobce [E5]*

5.3 Dvojkolí a trakční motory - osy kolmé, motor mimo podvozek

Umístěním trakčního motoru mimo podvozek (například pod podlahou vozidla)⁶⁵ lze výrazně zmenšit velikost podvozku - a zejména tehdy jedná-li se o použití motoru velkých rozměrů (tj. například motor s velkým instalovaným výkonem, stejnosměrný motor starší

⁶⁵ Typickými představiteli tohoto nepříliš obvyklého uspořádání u ČD jsou např. řady **725, 810, 850**, resp. **560 a 680** (tj. vozidla, kde nebylo vhodné použít trakční elektromotory, resp. nebylo vhodné je umístit do podvozků tak jako je tomu u většiny vozidel). Zde je vždy kloubový hřídel (vedoucí z poháněcího stroje umístěného pod skříní vozidla) připojen přímo na nápravovou převodovku.

konstrukce atd.). Dále lze takto zajistit jeho plné odpružení primárním i sekundárním vypružením (motor je upevněn nikoliv na podvozku ale na rámu vozidla).

Pro použití na tramvajích (nízká rychlost a poměrně malé instalované výkony) jsou tyto výhody poněkud omezené. Navíc nutnost zajistit průjezd ostrým obloukem vede u otočných podvozků tramvaje na poměrně vysoké hodnoty maximálního úhlu natočení podvozku vůči skříni vozidla (například $\pm 12^\circ$) což ještě více komplikuje uspořádání kloubového hřídele pro přenos krouticího momentu z motoru do převodovky v podvozku. Navíc umístění motoru pod podlahou pro nízkopodlažní vozidla může do míry jisté komplikovat uspořádání interiéru vozidla i mimo podvozky (tj. například nutnou vyvýšenou část podlahy nad vodorovně uloženým motorem využít pro sedadla atd.).

Z hlediska realizace lze dále dělit tuto variantu ještě dále - například na verze, kdy tímto způsobem pohání jeden motor několik náprav⁶⁶ (podvozek typu **B'**), nebo každá náprava je poháněna vlastním motorem⁶⁷ (podvozek **B₀'**), nebo je poháněna pouze jedna náprava zatímco druhá náprava je pouze běžná⁶⁸ (podvozek (**1A**)').

5.4 Dvojkolí a trakční motory - osy kolmé, motor na boku podvozku

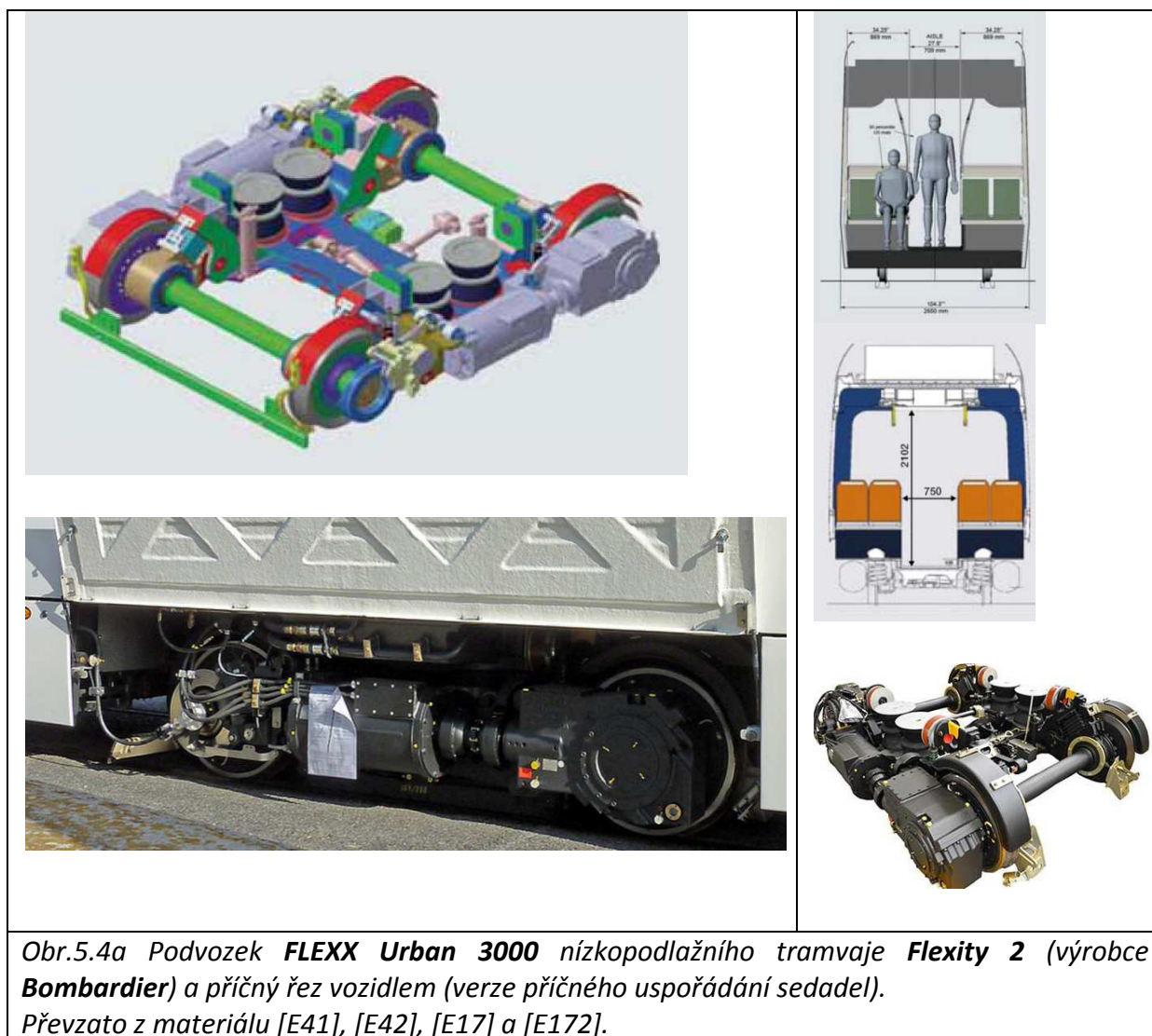
Umístění motoru na boku podvozku umožní snížit podlahu i nad centrální části podvozku (oproti kap. 5.1 a kap. 5.2 – tj. oproti variantám umístění motoru uvnitř podvozku). Tímto se umožní, aby průchozí ulička uprostřed vozu mohla být umístěná níže. Tedy průchod vozidlem může být zajištěn bez nutnosti chůze do schodů (na rozdíl od částečně nízkopodlažních vozidel) a případně i zcela vodorovně (tj. bez nutnosti chůze po podlaze skládajících se ze šikmých ramp pro vystoupení z nízko uložených částí u nástupních dveří do výše umístěných částí podlahy nad podvozkem).

⁶⁶ Viz obr. 5c a řady **560**, **850** a zejména **725** (kde dokonce jediný motor pohání všechna dvojkolí obou podvozků).

⁶⁷ Tedy například v „symetrickém“ provedení, kde z každé strany podvozku je motor s kloubovou spojkou pohánějící pouze přilehlou nápravu.

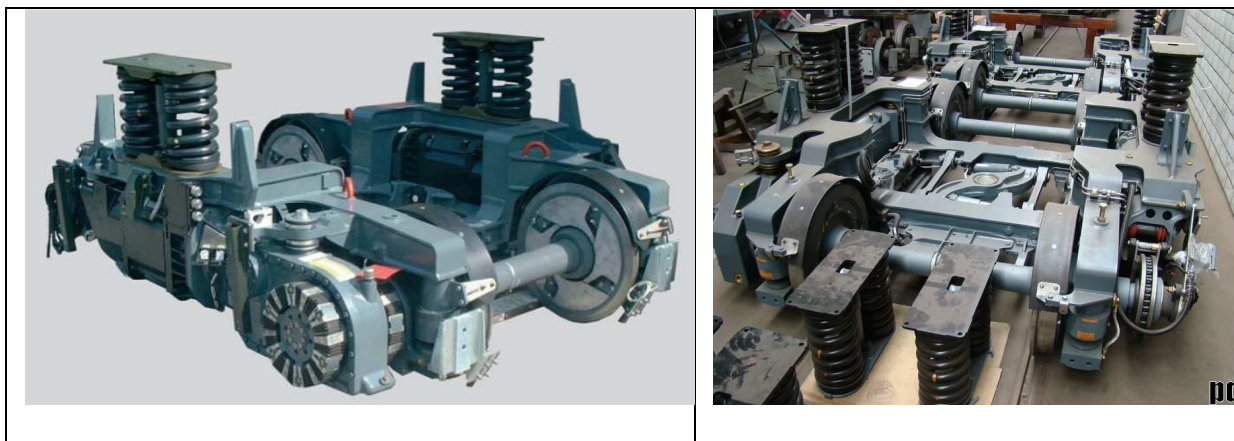
⁶⁸ V provedení pro tramvaje jde o obdobu provedení uvedené v kap.5.5 jako „Brémské tramvaje“ typů **GT6N** atd. (zde v kap.5.3 uvažováno dvojkolí s nápravovou převodovkou, zatímco v kap.5.5 uvažovány místo dvojkolí dvě kola bez průběžné nápravy avšak propojené mechanickými převodovkami k dosažení v podstatě stejné funkce), resp. v provedení s kolovým pohonem dle kap.5.8.

Zvýšená podlaha na bocích vozidla (tj. nad motory, pojezdovými koly a dalšími elementy podvozku⁶⁹) pak může být využita pro umístění sedadel (v optimálním případě by bylo vhodné toho dosáhnout bez ztrát užitečné plochy).



Pokud jsou použita dvojkolí (což zde na rozdíl od následujících kapitol uvažujeme) a pokud motory budou na obou bocích (symetrie pro „příčnou vyváženost“), pak to vede na uspořádání schematicky zobrazené na obr. 5d. Tedy motor na pravém boku podvozku pohání pomocí kloubové převodovky „svoje“ přední dvojkolí (a na levé straně tohoto dvojkolí je prostor obvykle využit pro mechanickou brzdou). A symetricky motor na levém boku podvozku pohání „svoje“ zadní dvojkolí s brzdou na pravé straně.

⁶⁹ Tedy především převodovky, vypružení a případně další komponenty pro spojení skříně a podvozku.



Obr.5.4b Podvozek **S1000** (průměr kol 560 mm) tramvaje **Flexity** výrobce **Bombardier**, popis viz kap. 4.3.2 v [2]. Převzato z materiálu [E39].

Příklady realizace (a pohled na reálné provedení) viz obr. 5.4a až 5.4d u 100% nízkopodlažních vozidel Flexity Bombardier (podvozek zde je neotočný – resp. s možností jen velmi omezeného natáčení vůči skřini vozidla).⁷⁰ Bližší popis vozidla viz např. kap. 4.3.4 v [2].



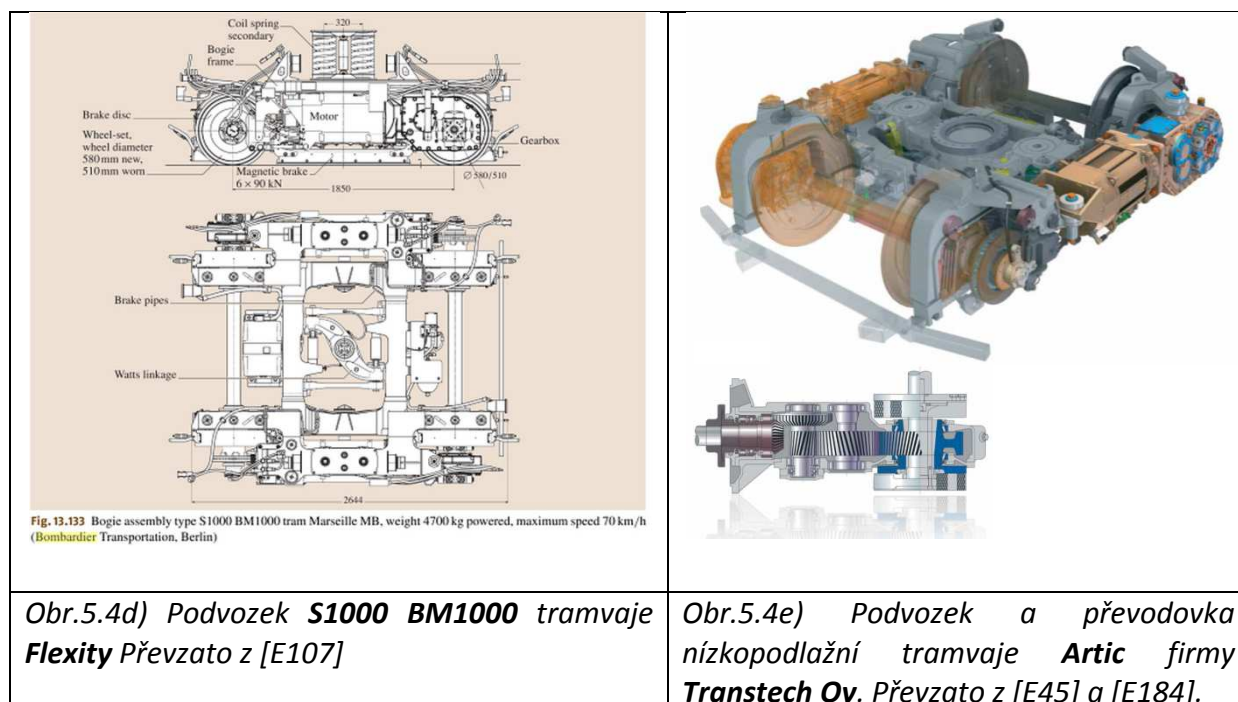
Obr.5.4c Tramvaj **Flexity Outlook** při přepravě do MHD Bratislava. Na nápravě vpravo je vidět převodovka, na nápravě vlevo kotoučová brzda, uprostřed motor. Převzato z [E43].

Příklad otočného podvozku pro úzkorozchodnou nízkopodlažní tramvaj **Artic** Finskeho výrobce **Transtech Oy** (ve spolupráci firmy **Voith**) pro Helsinky - viz obr. 5.4e (rozchod 1000mm, průměr kol 680mm, výška podlahy 360mm⁷¹, rok výroby 2013). Porovnáním obr. 5.4b a obr. 5.4e je zřejmý značný nárůst zastavěného prostoru uprostřed podvozku (z důvodu umístění kolébky podvozku a otočného čepu pro otočné spojení se

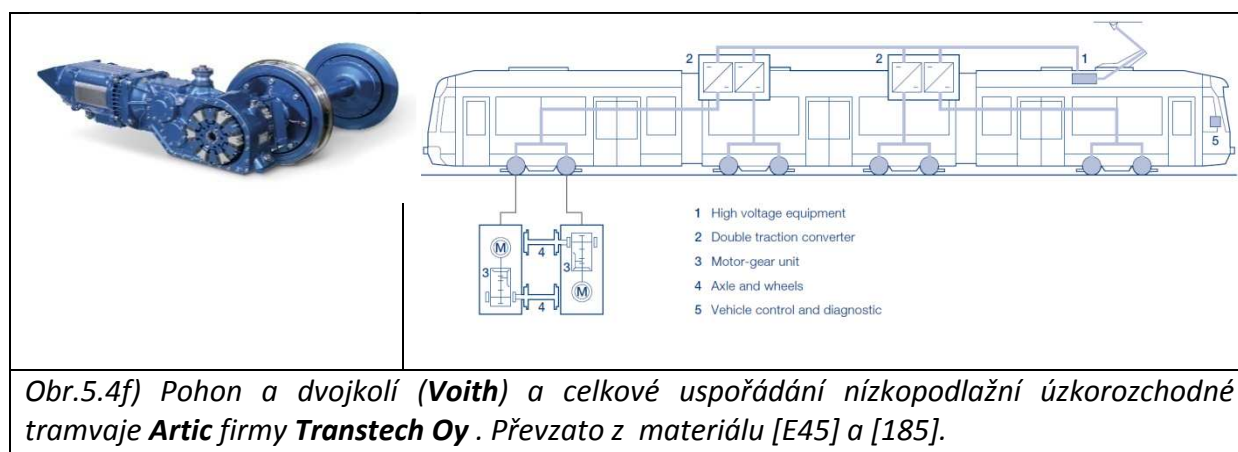
⁷⁰ A dále např. velmi podobné provedení podvozků viz obr. 5.4g (100% nízkopodlažní tramvaj **Solaris Tramino** výrobce **Solaris Bus & Coach**, Bolechovo Poznaň).

⁷¹ V místě vstupů do vozu, jinak nejvyšší výška podlahy uvnitř vozu je až 520mm. Což společně s ohledem krátkou vzdáleností mezi dveřmi a podvozky zřejmě vede na značný sklon podlahy.

skříní vozu). Otočnost podvozku navíc vede na nutnost zúžení uličky pro průchod vozem (což je navíc umocněno tím, že se jedná o úzkorozchodné vozidlo).



Z obr. 5.4e vyplývá, že převodovka má jedno soukolí s kuželovým převodem a jedno soukolí s čelním převodem s vloženým mezikolem).

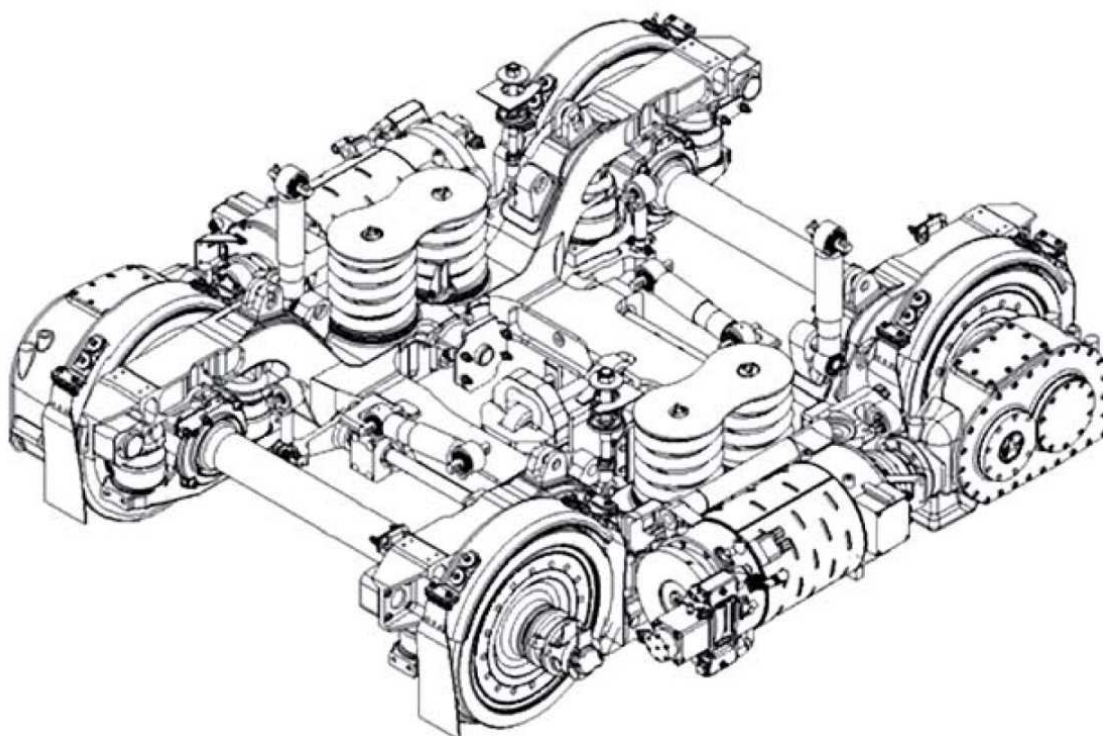


Na obr. 5.4f je zjednodušeně znázorněno i zapojení trakčních motorů (oba motory podvozku jsou napájeny ze společného střídače).



Obr.5.4g) Nízkopodlažní tramvaj **Solaris Tramino**. Převzato z [E88]

Pro dopravní podniky, kde nejsou kladeny tak náročné požadavky (tj. například pokud se nevyžadují otočné podvozky pro častý průjezd ostrými oblouky atd.⁷²) tak jako na vozidlo **15T** (viz kap. 5.10) výrobce **Škoda** nabízí nový typ **26T** (Miskolc⁷³) – viz [E186]. Na obr. 5.4h je patrný motor na boku a převodovka pro jedno dvojkolí (na druhé straně symetricky dtto). Vozidlo je nabízeno pro rozchody 950mm až 1524mm.



Obr.5.4h) Trakční podvozek 100% nízkopodlažní tramvaje **Škoda 26T** pro Miskolc, mechanická brzda namontovaná na motoru. Převzato z materiálu výrobce [E186].

⁷² Dále jsou nabízeny varianty s 1 nebo 2 běžnými podvozky (pro tratě s menšími převýšeními atd.).

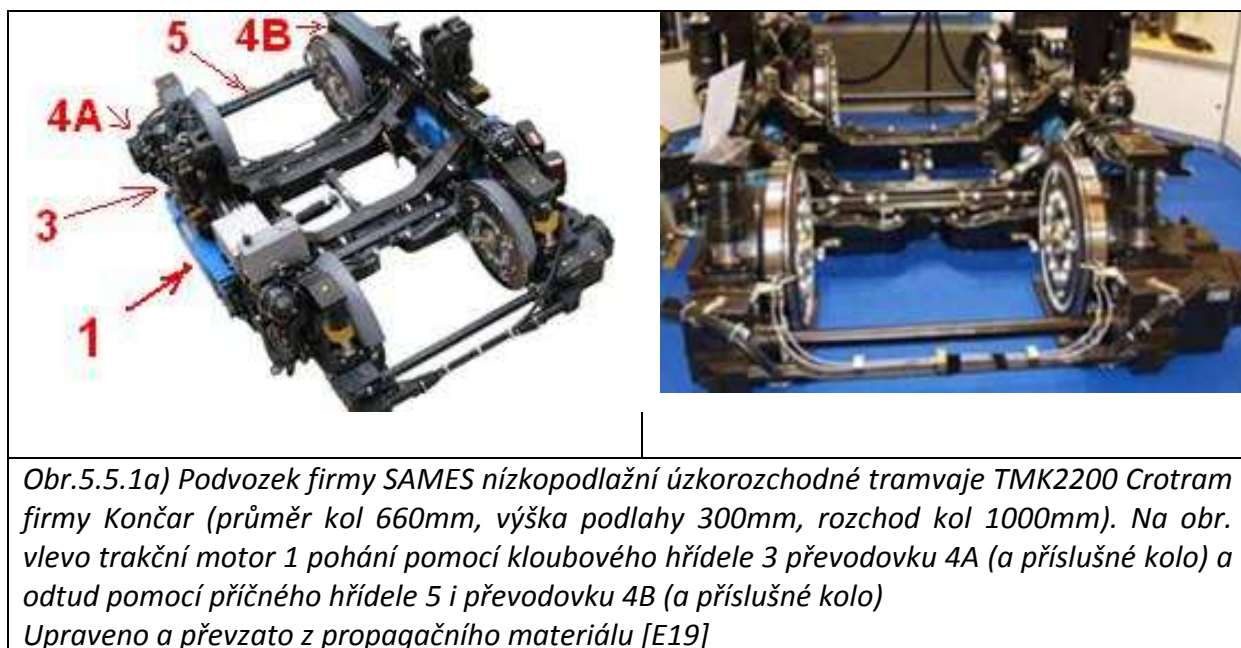
⁷³ Resp. typ **29T** a **30T** (Bratislava, rozchod 1000mm, přední podvozek otáčivý) nebo **28T** (Konya, Turecko).

5.5 Motor pro dvě samostatná kola vedle sebe

Požadavek na nízké umístění podlahy (i v prostoru nad podvozky) může vést dokonce i k použití samostatných kol místo dvojkolí (viz kap. 2.4 a obr. 2.7d). Stejnou rychlost otáčení kol na levé a pravé straně lze pak zajistit pomocí propojení převodovky pro levé kolo a převodovky pro pravé kolo příčným hřídelem (viz obr.5e). Tím bude možno pro pohon těchto dvou kol použít jediný motor (avšak za cenu výrazného nárůstu počtu mechanických převodů ve srovnání s tím, že by se použilo klasické dvojkolí).

5.5.1 Nízkopodlažní tramvaj TMK2200 (výrobce Končar)

Na obr. 1.44 str. 24 v [2] (a dále kap. 4.3.3 na str. 120 v [2]) a obr.5.5a je uveden příklad, kdy je motor umístěn na boku podvozku (tj. v podstatě jde o analogii k předcházející kapitole 5.4 avšak místo dvojkolí je použito volných kol navzájem zpřevodovaných pomocí převodovek⁷⁴ umístěných „v rozích podvozku“ – viz pozice 4A a 4B na obr.5.5a).



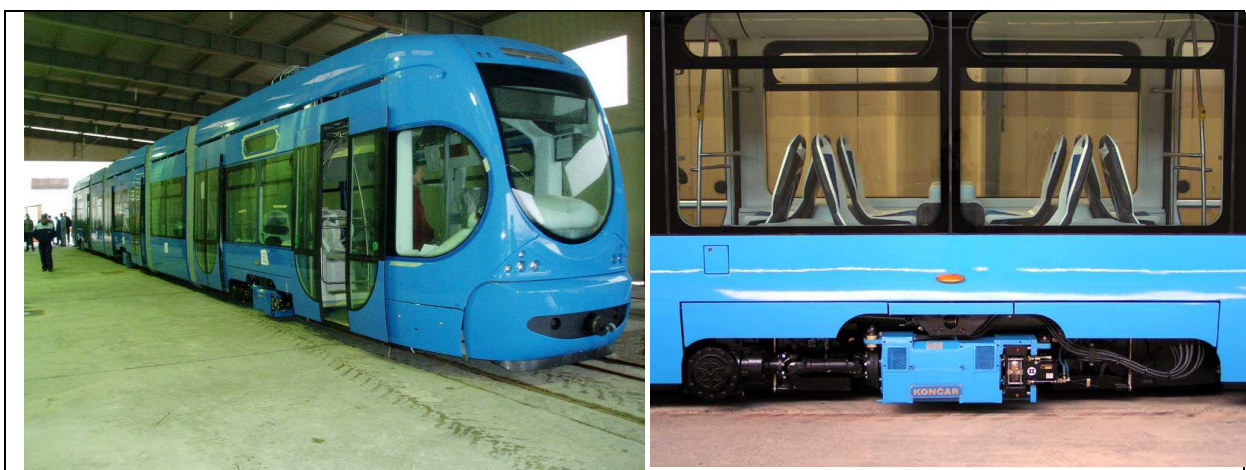
Obr.5.5.1a) Podvozek firmy SAMES nízkopodlažní úzkorozchodné tramvaje TMK2200 Crotram firmy Končar (průměr kol 660mm, výška podlahy 300mm, rozchod kol 1000mm). Na obr. vlevo trakční motor 1 pohání pomocí kloubového hřídele 3 převodovku 4A (a příslušné kolo) a odtud pomocí příčného hřídele 5 i převodovku 4B (a příslušné kolo)
Upraveno a převzato z propagačního materiálu [E19]

⁷⁴ A tyto převodovky jsou mezi sebou propojeny příčným hřídelem (viz pozice (5) na obr.5.5.1a).



Obr.5.5.1b) Interiér tramvaje TMK2200 firmy Končar. Převzato z [E153].

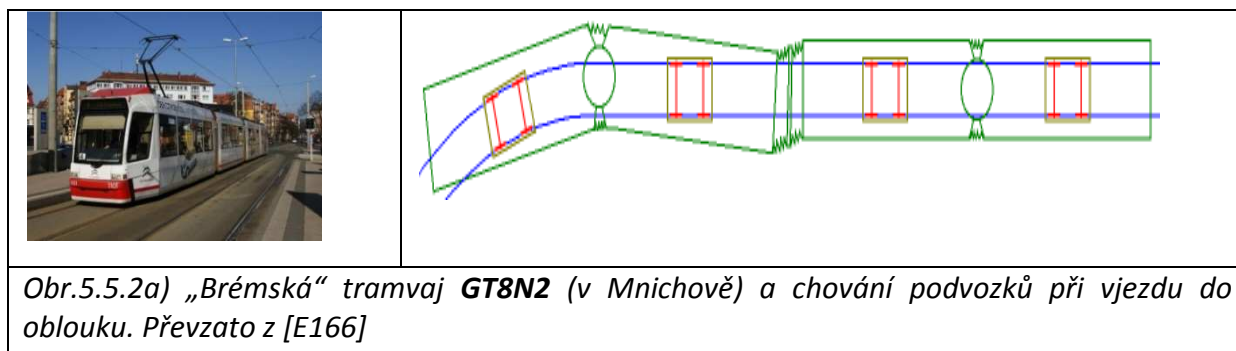
S ohledem na úzký rozchod je zřejmé, že se jednalo o poměrně složitý úkol. Pohled do interiéru (obr. 5.5.1b) však ukazuje, že se vyvýšené prostory nad podvozky nepodařilo zcela účelně využít. Například sedadla se nepodařilo posunout až k boku skříně a tím zde vznikají nevyužitelné prostory okolo sedadel (jež jsou pro tramvaj zbytečně nadstandardní až nevhodné), což je na úkor redukce prostoru pro další cestující. Volné zvýšené plochy mezi sedadlem a oknem by stejně nebylo možno již využít (zřejmě z důvodu úzké skříně - jen 2300mm) pro další řadu sedadel (u normálně-rozchodných vozidel 4 řady sedadel zakryjí i podstatně širší zvýšený prostor).



Obr.5.5.1c) Tramvaj TMK2200 firmy Končar – pohled na trakční motory v podvozcích
Upraveno a převzato z propagačního materiálu [E19]

5.5.2 Brémská tramvaj

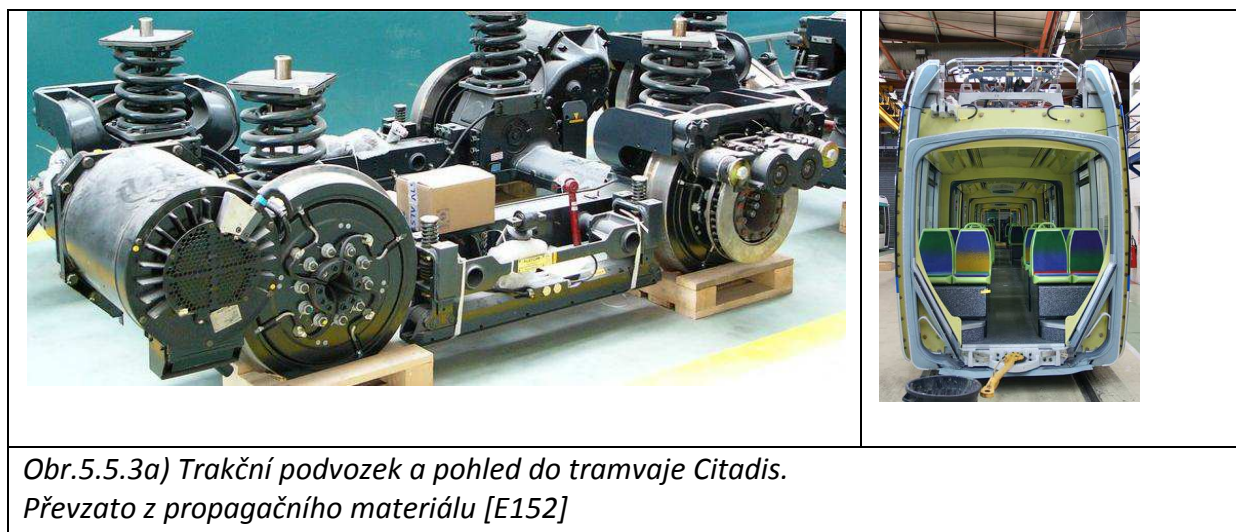
Na obr. 1.43 (str. 23) v [2] je uveden příklad, kdy je motor umístěn mimo podvozek, tj. motor je umístěn na skříni vozidla – tj. analogie s kap. 5.3 (avšak v případě kap. 5.3 je uvažováno místo převodovek a příčného hřídele použití klasického dvojkolí).



Řešení dle obr. 1.43 (str. 23) v [2] a Figure 42 až 44 v [E2], str. 31 a 32 - tj. tzv. „Brémská tramvaj“ je doplněno o samouzamykací hydraulický diferenciál, který výrazně omezuje opotřebení kol (při jízdě po přímém úseku trati je diferenciál uzamknut a obě kola se chovají jako klasické dvojkolí.⁷⁵ Při jízdě do oblouku uvolnění diferenciálu umožní rozdílnou rychlost levého a pravého kola). „Brémské tramvaje“ **GT6N** (resp. **GT8N**)⁷⁶ mají trakční motory umístěné mimo podvozky (tedy vodorovně pod skříní). Krouticí moment se přenáší kloubovým hřídelem do převodovek pro jednu dvojici kol vedle sebe⁷⁷ – podobně jako uvedeno v kapitole 5.3, kde jsou však místo volných kol uvažovány dvojkolí).

5.5.3 Nízkopodlažní Citadis (výrobce Alstom)

Jako další příklad uvedme neotočné podvozky pro 100% nízkopodlažní⁷⁸ tramvaje Citadis výrobce Alstom (obr.5.5.3a).



⁷⁵ Tedy nastává vlnivý pohyb vedoucí na optimální provoz dvojkolí z hlediska opotřebení atd.

⁷⁶ Výrobce Wegmann/MAN/BSAG resp. Adtranz, AEG, Bombardier, průměr kol 660mm, nástupní výška podlahy 300mm nad TK, 100%nízkopodlažní, vyráběno v 90-tých letech.

⁷⁷ Druhá dvojice kol podvozku je u těchto vozidel bez pohonu - což odpovídá kombinaci běžných a hnacích „náprav“ v podvozcích (a nápravy nejsou tvořeny dvojkolími ale volnými koly) – tj. např. u vozu **GT6N** jde o uspořádání „náprav“ **(1A)+(1A)+(1A)**.

⁷⁸ Výška podlahy 350mm.

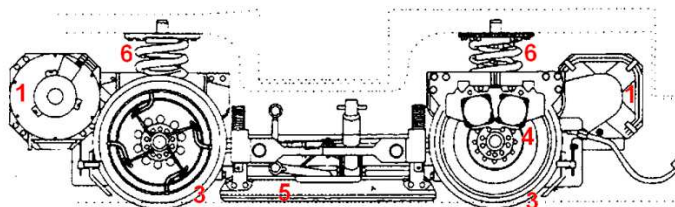
Ve dvou protilehlých rozích podvozku (a mírně výše nežli jsou pojezdová kola) jsou umístěny dva trakční motory. Zadní (resp. přední) motor pohánějí příčný hřídel (v nízko uložené nápravnici) spojující převodovku pro pravé a převodovku pro levé zadní (resp. přední) kolo. V principu jde o velmi podobné uspořádání jako u tramvaje Končar (kap. 5.5.1) rozdíl je především v tom, že motor je zde nahoře (v kap. 5.5.1 je u úzkorozchodného vozidla na boku více využitelného místa) a převody jsou z vnitřních stran kol (což by u úzkorozchodného vozidla dle kap. 5.5.1 nebylo vhodné).



Obr.5.5.3b) Nápravnice (dole), převodovky a náboje pro připojení kol (dole uprostřed), příruba k připevnění motoru (vlevo nahoře) tramvaje **Citadis**. Převzato z materiálu [E158].



Obr.5.5.3c) Trakční podvozek vozidla **Citadis** – zcela vpravo motor, dole nápravnice, zcela vlevo je vidět pojezdové kolo a kotoučová brzda, pohled zprava na tuto situaci - viz obr.5.5.3e. Převzato z [E198].

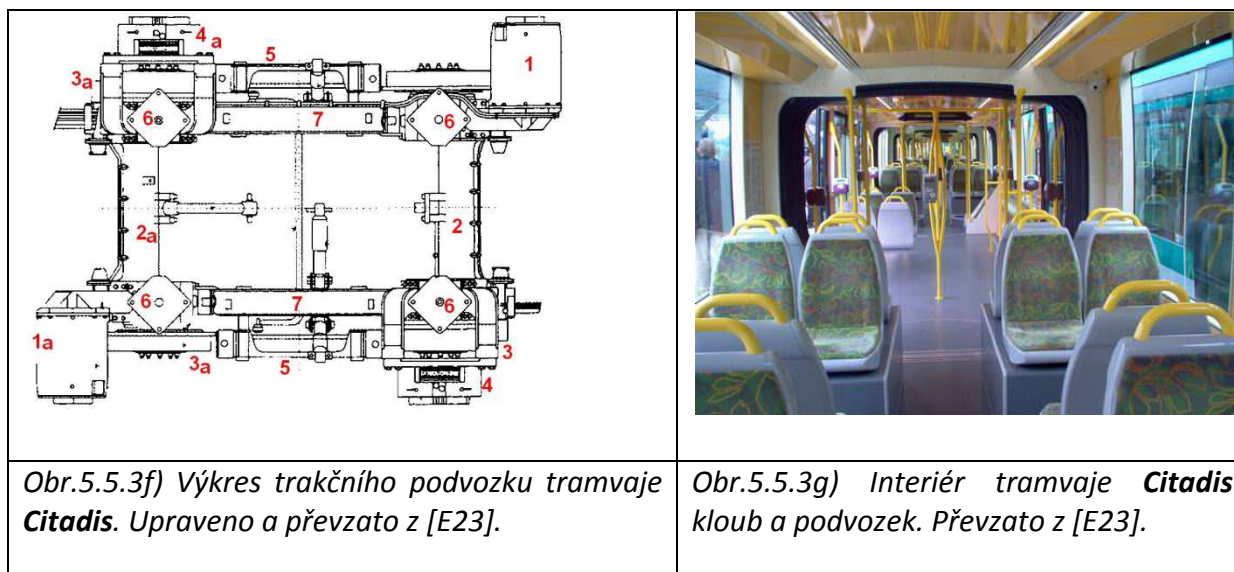


Obr.5.5.3d) Výkres trakčního podvozku tramvaje **Citadis**. Upraveno a převzato z [E23]

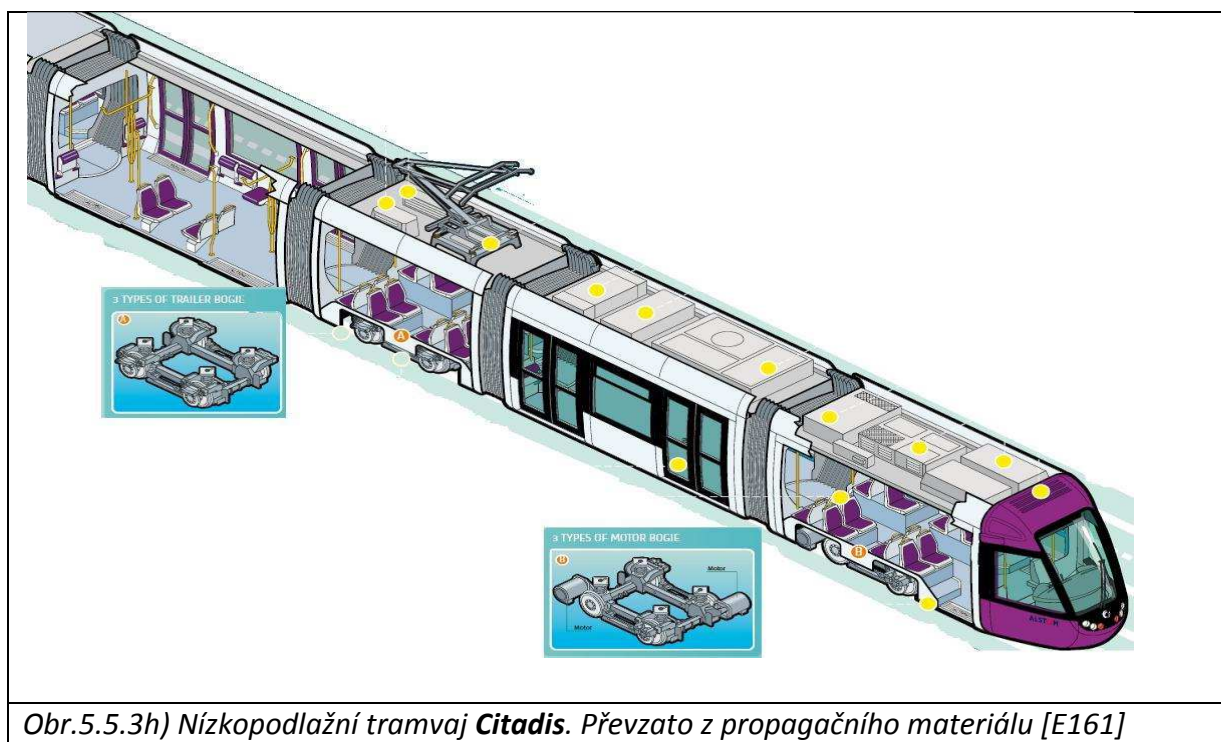


Obr.5.5.3e) Pohled na trakční podvozek. Pohled kolmo k obr.5.5.3c). Převzato z materiálu [E198]

Pro pohled shora (obr. 5.5.3f): motor (1a) pohání příčný hřídel (v nízko uložené nápravnici (2a)) a obě převodovky vedle kola (3a). Na kolech jsou kotoučové brzdy (4) a dole kolejnicová brzda (5). Na pružinách (6) se přenáší svislé síly ze skříně. Podélníky podvozku (7) jsou umístěny poměrně hluboko dole, což umožňuje i v těchto místech snížit podlahu – viz obr.5.5.3d (tj. podařilo se tím dosáhnout téměř ideálního tvaru dle obr. 3.4a).



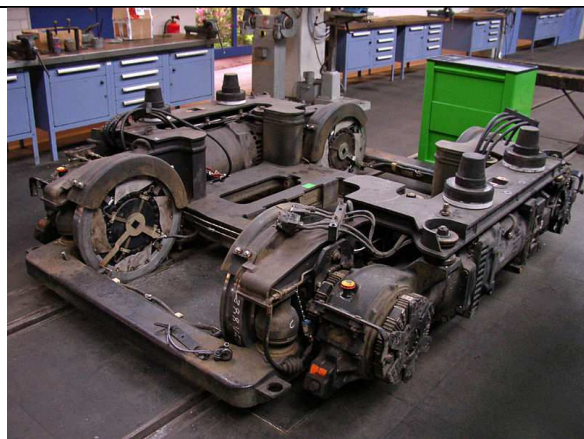
Na obr.5.5.3g a 5.5.3h je patrné rozmístění v rámci celého vozidla. Na rozdíl od obr.5.5.1b vysoko zasahující komponenty podvozku (motory, pojezdová kola i pružiny) využívají jen prostory pod sedadly. Navíc všechna sedadla mohou být uspořádána jen příčně ke směru jízdy (tj. nemusí se zde realizovat ergonomicky nevhodné podélné lavice sedadel jako je tomu u konstrukcí například zobrazených na obr.5.7.1f).



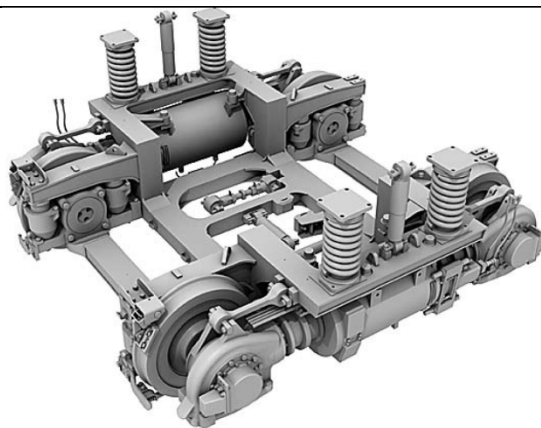
5.6 Motor pro dvě samostatná kola za sebou („podélné dvojkolí“)

Pokud se zrealizuje mechanické propojení převodovkami mezi koly za sebou (na rozdíl od předcházející kapitoly 5.5, kde byly převodovkami spojeny kola vedle sebe) vznikne uspořádání zjednodušeně znázorněné na obr.5f. Motory jsou umístěny (nejlépe) na boku podvozku (případně jinde). Na prodlouženích hřídele motoru je připojena převodovka kola před motorem i za motorem. Mechanicky je tak svázaná rychlost točení kola vpředu i vzadu.⁷⁹ V analogii s předcházející kapitolou (kde mechanická vazba přes převodovky částečně „nahrazovala“ vazbu kol napříč vozidlem – v klasickém uspořádání danou jejich uspořádáním do dvojkolí) lze odvodit označení jako „podélné dvojkolí“.

Z hlediska funkčnosti zde vazba mezi koly napravo a nalevo již není dána mechanickou vazbou (jako je tomu u klasických dvojkolí) ani její náhradou (jako je tomu u vazeb pomocí převodovek a příčného hřídele – viz předcházející kapitola 5.5). Proto je třeba tuto vazbu řešit jinými prostředky - například regulačně oddělenou regulací motorů pro levou a pro pravou stranu (viz kap. 4.4.3) - podobně jako je tomu u kolových pohonů popsaných v následujících kapitolách).



Obr.5.6a Podvozek tramvaje **Combino** (**Siemens**), převzato z propagačního materiálu [E51]



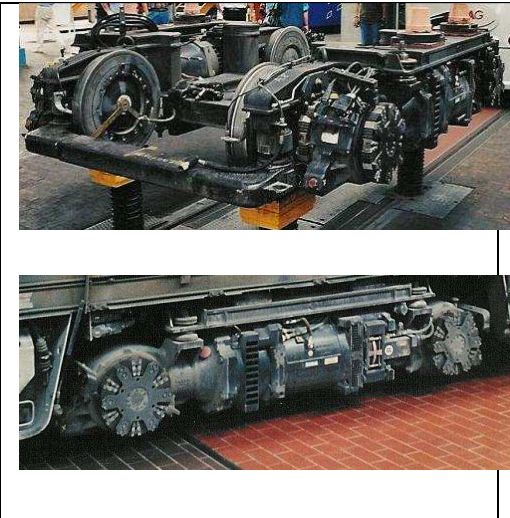
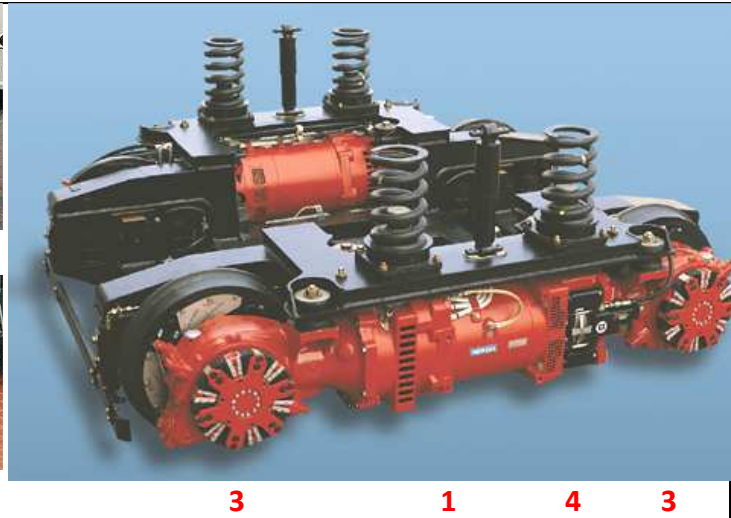
Obr.5.6b Trakční podvozek tramvaje **LVR Green Mover** [E53]

Jako příklady⁸⁰ zde uvedme neotočné podvozky pro 100% nízkopodlažní tramvaje **Combino** (výrobce **Siemens**) – viz obr.5.6acd (bližší popis mechanické konstrukce viz kap.

⁷⁹ Z pohledu těchto jednotlivých „půl-náprav“ se jedná o skupinový pohon (jeden motor pohání půlnápravu vpředu i vzadu).

⁸⁰ Dále tramvaje **Cobra** (výrobce **ABB, SIG, Schindler**) provozované v Currychu.

4.3.1 v [2]), případně velmi podobné uspořádání nízkopodlažní tramvaje **LVR Green Mover** výrobce **Mitsubishi** (viz obr.5.6b).

	
Obr.5.6c Podvozek tramvaje Combino (výrobce Siemens). Převzato z [E50]	Obr.5.6d Podvozek tramvaje Combino. Na krajích jsou převodovky (1) pohánějící přilehlé kolo, uprostřed je motor (1) a brzda (4). Převzato z [E48]

5.7 Kolový pohon motorem umístěným „před nápravou“

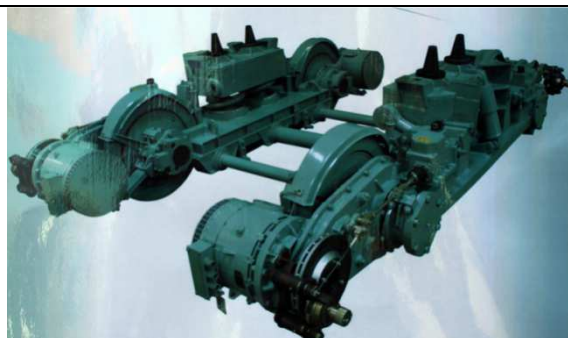
Pokud jsou použita volná kola (místo dvojkolí) lze i pro tyto „půl-nápravy“ využít motor umístěný před „nápravou“ nebo za nápravou. Tedy pro uspořádání s příčně uloženými motory rovnoběžně s „nápravami“ dle 5a lze modifikovat rozdělením zvlášť pro levou a zvlášť pro pravou stranu podvozku – tj. viz např. uspořádání dle obr.5g). Toto uspořádání bylo použito u vozidla popsaného v následující kapitole⁸¹ 5.7.1, kde jsou převodovky s čelními převody. Další verzí je motory umístit podélně – tj. kolmo k ose kol – viz kap. 5.7.2.

5.7.1 Plně nízkopodlažní vůz 71-409 (výrobce UralTransMaš)

Dle veřejně dostupných (často avšak ale neoficiálních zdrojů) je použito uspořádání kolového pohonu s příčně uloženými motory (tj. osa motoru rovnoběžná s osou kol) u vozů nového⁸² typu **71-409** (první plně nízkopodlažní tramvaje tohoto ruského výrobce). Vozidlo má 3 články – prostřední je zavěšen. Přední (a stejně tak i zadní) článek má neotočný 4-kolový podvozek. Celkem má vůz tedy 4x2 „půl-nápravy“, celkem 8 kol (každé poháněnými vlastním asynchronním TM), celkový výkon 380 kW (tj. 8x 47,5 kW), hmotnost 25 t, délka vozu 21m, obsazenost 210 osob (v tom 40sedících), podlaha 350 mm nad TK.

⁸¹ S ohledem na to, že se jedná o jednak atypické uspořádání a jednak nové vozidlo (málo popsané v literatuře), je tomuto vozidlu věnován větší prostor nežli je tomu u jiných (známějších) koncepcí.

⁸² První prototyp výroba 2011, testovací provoz 2012 (resp. 2013).



Obr.5.7.1a Podvozek vozu 71-409, převzato z propagačního materiálu [E63]



Obr.5.7.1b Pohled na podvozek zespodu (při zvedání vozu jeřábem). P převzato z [E61].

Podvozek v podstatě využívá jen prostor pod boky skříně vozidla (a díky tomu jen mírně zasahuje dovnitř vozidla). Symetricky (směrem od středu podvozku vpřed i vzad) je umístěno (popis k obr.5.7.1c):

- A) vypružení, tlumič, nosný podélník podvozku a kolejnicová brzda
- B) pojezdové kolo a převodovka
- C) kotoučová brzda a směrem dovnitř vozu asynchronní TM

Na rozdíl od ostatních typů podvozků (kde se většina komponent umísťuje do prostoru mezi dvojkolími) je zde podvozek neobvykle dlouhý a úzký (jen po stranách)



Obr.5.7.1c Podvozek – pohled z boku (po sejmutí jeho krytu). P převzato z [E61].

Převodovka je umístěna na boku vozu (tj. až za pojezdovým kolem). Ale motory jsou směrem dovnitř vozu, proto převodovka má velkou vzdálenost mezi vstupním a výstupním hřídelem (tj. zřejmě 2 páry ozubených kol⁸³) aby se motor vyhnul pojezdovému kolu.



Obr.5.7.1d Detail zadní kolo podvozku



Obr.5.7.1e Přední podvozek a dveře do vozu. [E61]

Podvozek omezuje prostor skříně jen u boků (a nejvíce omezuje šířku podlahy v místech nad TM). Odpovídající vyvýšené „části podlahy“ jsou většinou využity pro sedadla, část je využitelná zřejmě jen pro zavazadla, šikmé plochy zřejmě ani pro ně (obr. 5.7.1f a 5.7.1g). Podélně umístěné řady sedadel (nad nosnými podélníky podvozků – obr. 5.7.1c) jsou mírně vyvýšené (jeden nízký široký schod).⁸⁴ Výhodou je zachování velké podlahové plochy pro stojící cestující (tj. vysoká kapacita vozidla).



Obr.5.7.1f Interiér vozu nad zadním podvozkem-pohled vzad [E57]



Obr.5.7.1g Interiér vozu v místě zadního kloubu-pohled vpřed [E57]

⁸³To je sice „mírná“ komplikace oproti jednostupňové převodovce (výroba, údržba, účinnost), ale na druhou stranu to mj. umožňuje dosáhnout velkého převodového poměru (i při malém průměru pojezdových kol) a tím zmenšit velikost TM (využitím vysokorychlostního TM)

⁸⁴Striktně vzato tedy nejde o zcela 100% nízkopodlažní vozidlo - avšak podobně přísné požadavky by pak bylo nutno klást i na ostatní příklady vozidel.

	
Obr.5.7.1h Pohled do předního článku, podvozek a rozebraný kloub [E61]	Obr.5.7.1i Názorný nákres uspořádání vozidla. Obr. převzatý z [E63]

Výrobce zřejmě předpokládá sériovou výrobu odvozených typů vozidel větších konstrukčních délek – tj. článková vozidla s většími články (viz obr.5.7.1k).

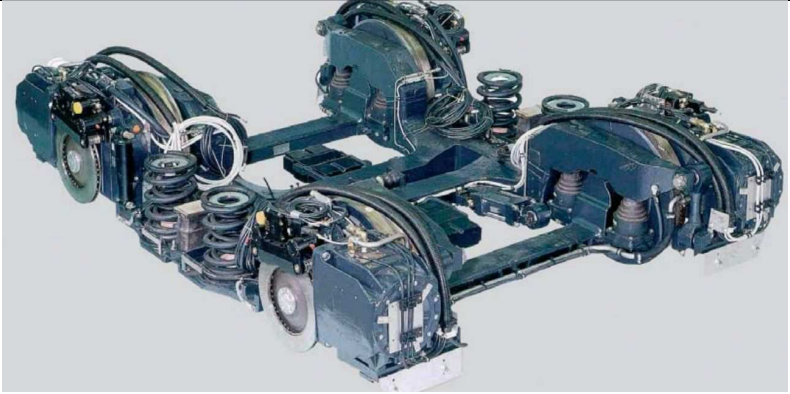
	
Obr.5.7.1j Pohled na prototypový vůz typu 71-409 [E61]	Obr.5.7.1k Možnosti stavebníkového řešení pro odvozená vozidla větších rozměrů [E63]

5.7.2 Kolový pohon – motor podélně v podvozku

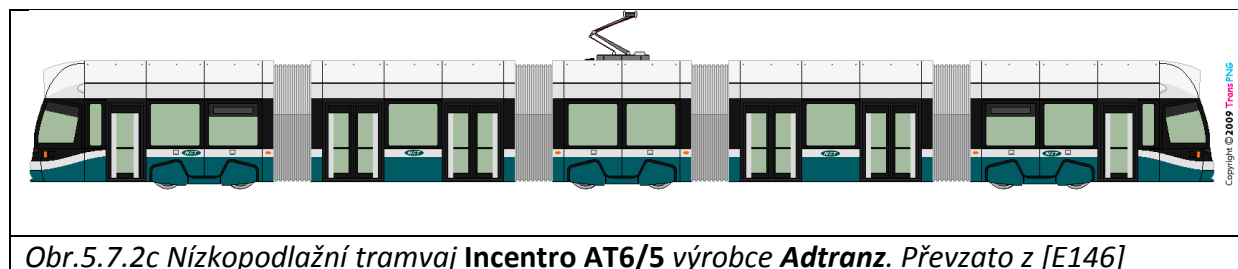
Modifikací obr. 5g (tj. uspořádání dle předcházející kap. 5.7.1) lze vygenerovat i další varianty uspořádání podvozku. Například budou-li motory umístěny nikoliv příčně (jako v předchozí kap. 5.7.1) ale podélně (tj. kolmo k ose pojezdových kol), lze dospět k uspořádání podvozku zobrazenému na obr.5.7.2a.

Zde má každé pojezdové kolo vlastní kotoučovou brzdu (směrem ven z vozidla) a pro pohon i vlastní motor - osy kola a motoru jsou kolmé (tj. převodovka s kuželovým a s čelním převodem – obr.5.7.2b).

Podvozků **S1100** (dle obr.5.7.2a) bylo vyrobeno cca sto ks v letech 2000 resp. 2003⁸⁵ a byly použity pro nízkopodlažní tramvaje **Incentro AT6/5** (uspořádání **B₀+ B₀+2**⁸⁶, průměr kol 660mm, výška podlahy 350mm).

	
Obr.5.7.2a Pohled na podvozek S1100 výrobce ADtranz (dnes Bombardier). Převzato z [E133]	Obr.5.7.2b Převodovka [E154]

Po včlenění výrobce **ADtranz** do koncernu **Bombardier** výroba tohoto typu ustala (s ohledem na řadu vozidel **Flexity** vyvinutou **Bombardier**).



Obr.5.7.2c Nízkopodlažní tramvaj **Incentro AT6/5** výrobce **Adtranz**. Převzato z [E146]

5.8 Kolový pohon motorem umístěným svisle nad podvozkem

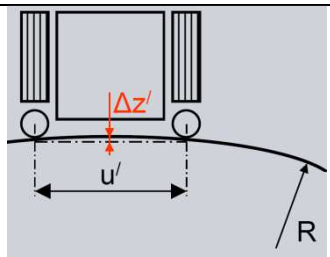
Svislé umístění motoru vede na jeho velkou výšku (konstrukční délka motoru + délka hřídele pro přenos krouticího momentu do převodovky u kola). Proto prostor nad ním lze účelně využít jen velmi omezeně (u ostatních konstrukcí se obvykle daří vyvýšená místa využít pro umístění sedadel). Řešením se pak jeví umístit tento svislý motor v jinak obtížně využitelném prostoru přechodových měchů v otočném kloubu vozidla. Kloub v prostoru nad podvozkem by tak vedl na použití Jakobsova podvozku (tj. kloub umístěný nad otočným podvozkem společným pro uložení obou zde se stýkajících článků vozidla).

⁸⁵ Konkrétně 48 ks pro Nantes resp. 45 ks pro Nottingham.

⁸⁶ Přesněji 3 články nad neotočnými podvozky + 2 články zavěšené mezi nimi.

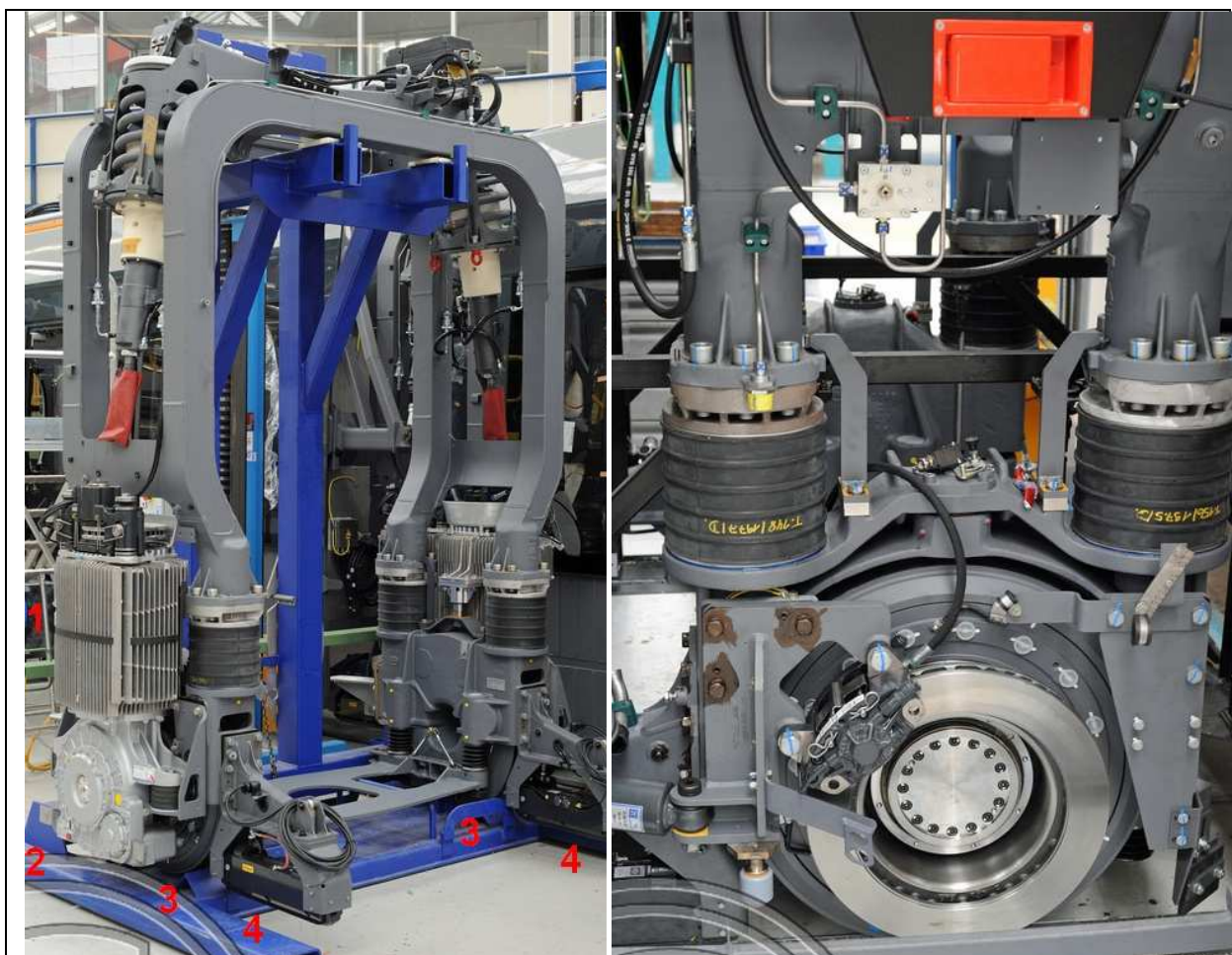
Pro umožnění natáčení podvozku by to vedlo na nevhodně velké plochy vyvýšené podlahy nad tímto Jakobsovým podvozkem – a to zejména pokud by byl podvozek dlouhý a pokud by ve velké vzdálenosti od otočných čepů měl vysoko umístěné komponenty zabíhající relativně dovnitř do vozidla (viz kap. 3.3).

V tomto případě by se jevilo vhodné použít extrémně krátký podvozek – tj. v ideálním případě podvozek jednonápravový. Jednonápravové podvozky umožní ekonomicky zkrátit délku článků mezi podvozky na cca polovinu (při stejném počtu náprav tj. při cca stejné hmotnosti vozidla). Kratší vzdálenost mezi podvozky (tj. cca 6m místo obvyklých 8m až 11m) vede na lepší přilnutí obrysu vozidla k oblouku⁸⁷. Pro zajištění průjezdu vozidla místem s lomem nivelety (zaobleným svislým zakružovacím obloukem o poloměru R – viz obr.5.8a) je nutno zajistit minimální výšku vozidla i v tomto místě (a to i při svislém pohybu skříně vlivem vypružení). Delší vzdálenost mezi podvozky tak tedy vede na větší minimální výšku vozidla a tím i na vyšší výšku podlahy (minimálně 300mm pro dvounápravové podvozky) ve srovnání s mezními možnostmi vozidla s jednonápravovými podvozky - kde by bylo možno tuto hodnotu snížit pod hodnotu 200mm.

	
<i>Obr.5.8a Průjezd vozidla přes lom nivelety převzato z materiálu [E144]</i>	<i>Obr.5.8b Pohled na vozidlo ULF (jsou patrné velmi krátké články mezi klouby nad jednonápravovými podvozky) [E107]</i>

Aby bylo možno takto razantně snížit výšku podlahy je nutno zajistit ještě další podmínky – například v případě tramvaje **ULF** (Ultra Low Floor) výrobce **Siemens** jsou v podstatě všechny rozhodující komponenty podvozku (motory, převodovka, vypružení atd.) vytěsněny z prostoru pod podlahou vozidla do nově vytvořených portálů (viz obr. 5.8c a dále viz například [2], [E87], [E99] a [E131]).

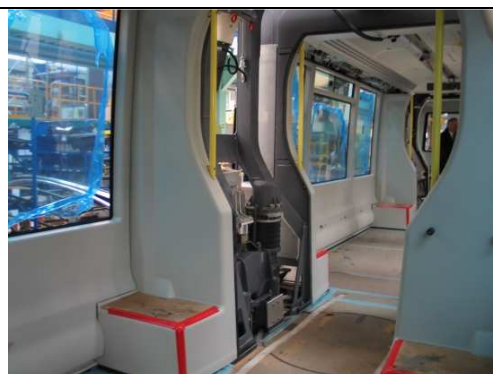
⁸⁷ Tedy u ostrých směrových oblouků skříní vozidla „nevychýlává“ tolik od osy projížděné koleje (tj. teoreticky není nutno tolik rozšiřovat průjezdný průřez v ostrých obloucích, resp. zužovat skříní vozidla).



*Obr.5.8c Portál odpovídající
jednonápravovému podvozku tramvaje **ULF**
na montážním přípravku. Upraveno z [E97]*

*Obr.5.8d Běžný podvozek (bez motoru), pohled
na brzdou. Převezato z [E97]*

Na obr.5.8c je v portálu (připraveném k namontování do skříně vozidla) vidět svislý motor (1) ve společném montážním bloku s převodovkou (2), dole je za převodovkou pojezdové kolo (3) a vepředu je kolejnicová brzda (4). Dále jsou zde patrné pružící elementy a lze odhadnout značné dimenzování konstrukce portálu (ve srovnání malou tloušťkou konstrukce pod podlahou).



Obr.5.8e Trakční motory smontované do bloku s převodovkami před umístěním podvozku [E97]

Obr.5.8f Vozidlo **ULF** ve výrobní hale [E46]

Na obr. 5.8f je vidět nízká výška podlahy vozidla nad TK (197mm) **ULF** 197.



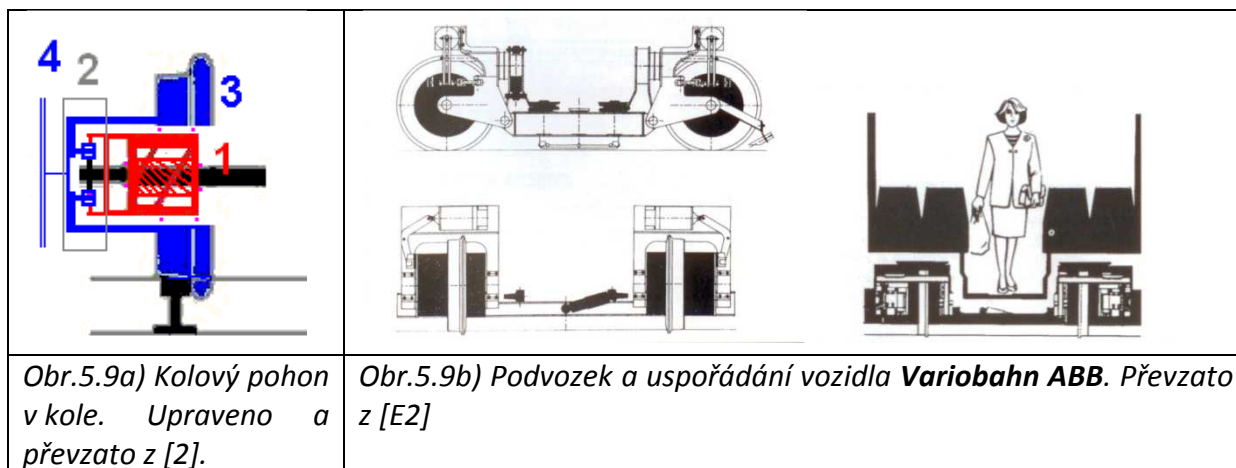
Obr.5.8g Portál umístěný ve vozidle [E97]

Obr.5.8h Pohled do interiéru vozidla **ULF** (v místě kloubu a portálu) [E69]

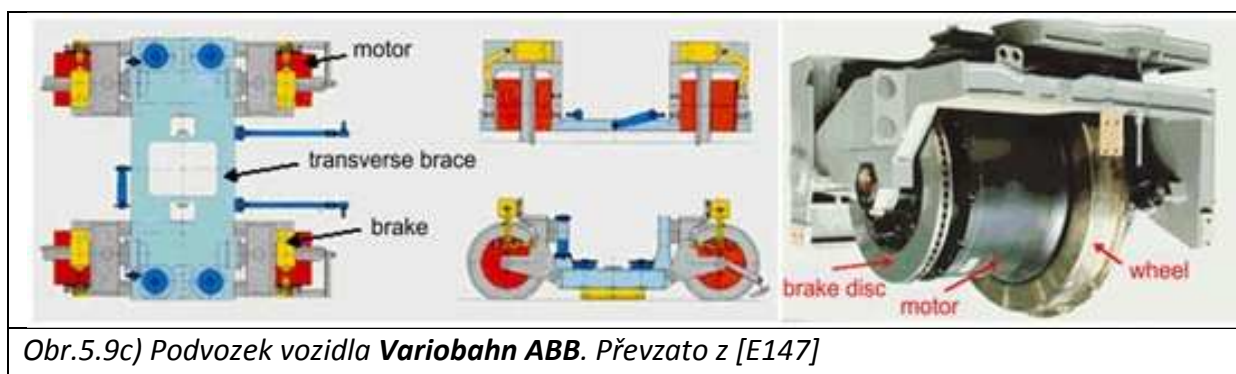
Z pohledu do interiéru vozidla (obr. 5.8g a 5.8h) je patrné, že klouby i portály omezují prostor využitelný pro cestující jen minimálně.

5.9 Kolový pohon motorem i s převodovkou umístěný v kole

Střední část pojezdového kola se mnoha v aplikacích (již od dávných dob) odlehčuje. V některých aplikacích se stále častěji dokonce využívá střed kola pro umístění motoru (tj. do náboje kola motor s vnitřním statorem na pevné hřídeli a s oběžným statorem spojeným s otáčivým kolem). V kap. 1.1.2.10 v [2] je uveden příklad, kolového pohonu kde je navíc ještě použita převodovka (a to dokonce planetová převodovka) – viz obr. 5.9a.



Na neotočné hřídeli „půl-nápravy“ je nasazen vnitřní stator motoru (1). Jeho oběžný rotor je spojen s korunovým kolem planetové převodovky (2). Okolo vnějšího rotoru motoru je otočně nasazeno (tj. pomocí dvojice ložisek) pojezdové kolo (3) spojené s korunovým kolem převodovky a s kotoučovou brzdou (4). Planetová převodovka zajistí velký převodový poměr při malém zastaveném prostoru (avšak s nižší účinností). To umožní do malého objemu umístit motor velkého výkonu (díky velké rychloběžnosti motoru). Obavy lze dále spatřovat v malých vzdálenostech mezi kolem a motorem (mechanické rázy z pojezdového kola se bez odpružení přenáší na převodovku i motor). Uspořádání bylo použito u starších vozidel Variobahn⁸⁸ výrobce ABB.



⁸⁸ S označením **Variobahn** se však lze setkat u několika různých konstrukcí.

5.10 Kolový pohon pomaluběžným motorem bez převodovky

Absence převodovky má za následek použití pomaluběžného motoru - tedy protože nemůže být využito zpřevodování do pomala, musí být motor schopen poskytnout podstatně větší moment nežli ve variantách pohonu dříve uvedených (viz kap. 4.6). Proto je motor větší, těžší a dražší nebo musí být použit motor méně obvyklé konstrukce. V poslední době se pro tyto účely používají synchronní motory s permanentními magnety (PMSM). Lze předpokládat, že bude snaha přímý pohon s pomaluběžným motorem nasazovat v budoucích letech i v dalších trakčních aplikacích - v [183] je uvedeno cca tisíc bezpřevodových pomaluběžných motorů **TMA 40-28-8** do disku kola (35 kW, 292 rpm, výrobce **ABB Turgi** pro **Stadler**) – celý podvozek viz např. [130]).

Jako příklad⁸⁹ zde bude uveden kolový pohon pro 100% nízkopodlažní⁹⁰ tramvaje typu **15T (For City)** výrobce **Škoda** (bližší popis mechanické konstrukce pohonu viz kap. 1.1.2.10, str. 25 v [2] a popis celého vozidla viz kap. 2.2k, str. 53 v [2]).

Volně otočná kola jsou nasazená na čepech nápravnice (obr. 2.8d). Na hřídeli každého hnaného pojezdového kola je směrem ven usazen SMPM. Vinutí vnějšího statoru je chlazeno vodou a na vnitřním rotoru jsou permanentní magnety. Stator je spojen s rámem podvozku. Propojení mezi rotorem SMPM a pojezdovým kolem je pomocí krátké hřídele (zubové spojky) procházející dutou hřídelí motoru.

		
<i>Obr.5.10a) Podvozek vozu 15T. Převzato z [E131]</i>	<i>Obr.5.10b) Podvozek vozu 15T při výrobě. Převzato z [E132]</i>	<i>Obr.5.10c) Interiér [E168]</i>

Vozidlo je **15T** je kloubové se třemi články⁹¹ – druhý a třetí podvozek je Jakobsův se dvěma čepy pro usazení článků (obr. 5.10b). Přední a poslední (tj. první a čtvrtý) podvozek

⁸⁹ Protože se jedná o známé vozidlo, bude řešeno jen velmi stručně.

⁹⁰ Výška podlahy 350 až 450mm.

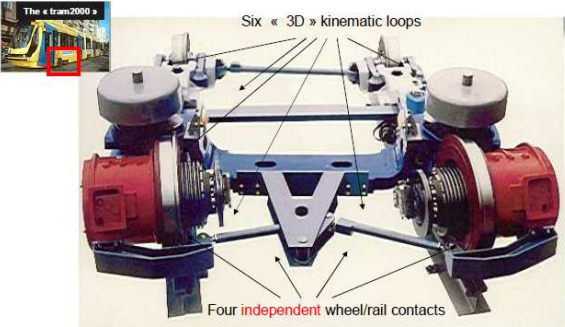
jsou jen pod krajními články. Otočné Jakobsovy podvozky mají čepy velmi vzdálené (obr. 5.10b). To zmenšuje vliv natáčení podvozku na nízko uloženou podlahu (viz kap. 3.3.5). Avšak to má za následek dlouhé přechodové měchy nad podvozky (obr. 5.10c, obr. 3.1c a kap. 3.1) a tedy nevyužití podélných prostorů dole mezi trakčními PMSM.

5.11 Příklady neobvyklých konstrukcí vozidel

Zde budou zmíněny některé neobvyklé konstrukce podvozků, jichž specifika stojí za pozornost (ačkoliv jsou v praktickém provozu zastoupeny jen ojediněle).

5.11.1 Podvozky s nesterajně velkými koly

V některých případech je vhodné v podvozku použít různě velká kola (viz např. kap. 2.3d, 3.3.5e, resp. i historické provedení uvedené v [1]). Velká kola umožňují umístit pohon a malá kola běžného „podvozku“ nezabírají tolik místa (a to zejména je-li podvozek otočný). Například první podvozek může být z části umístěn pod stanovištěm řidiče - kde velká výška nevadí (proto je na této straně podvozku použita „náprava“ s velkými koly) a na druhé straně podvozku, kde je požadavek na nízkou výšku podlahy pro cestující (se použije běžná „náprava“ s malými koly). Podvozek tak může být dvounápravový (pro jeho dobré chodové vlastnosti⁹²).

The « BAS2000 » bogie : a general case 	
Obr.5.11.1a) Pohled na podvozek BAS 2000 ze strany velkých kol. Převzato z [E76]	Obr.5.11.1b) Podvozek ze strany malých kol Převzato z [E145]

⁹¹ Varianta pro Prahu má všechny kola hnaná (tj. $B_0' B_0' B_0' B_0'$), varianta pro Rigu má první podvozek běžný ($2' B_0' B_0' B_0'$) a některé vozy pro Rigu jsou se 4 články – tj. $2' B_0' B_0' B_0' B_0'$).

⁹² Případně je podvozek doplněn zařízením, aby „náprava“ s malými koly vhodně směřovala velká kola do oblouku (již na parních lokomotivách se často využívaly běžné podvozky s podobnými uspořádáními za účelem vhodného vedení do oblouků a snížení opotřebení kol).

Aby nedocházelo ke zbytečnému snižování adhezních možností vozidla, lze navíc zajistit⁹³ uspořádání s „maximálním adhezním účinkem“ – tj. více zatížit hnací „nápravu“ (a odlehčit běžnou „nápravu“).



Obr.5.11.1c) Vozidlo s podvozkem s nestejně velkými koly. Převzato z [E98]



Obr.5.11.1d) Podvozek ve vozidle – pohled ze strany. Převzato z [E98]

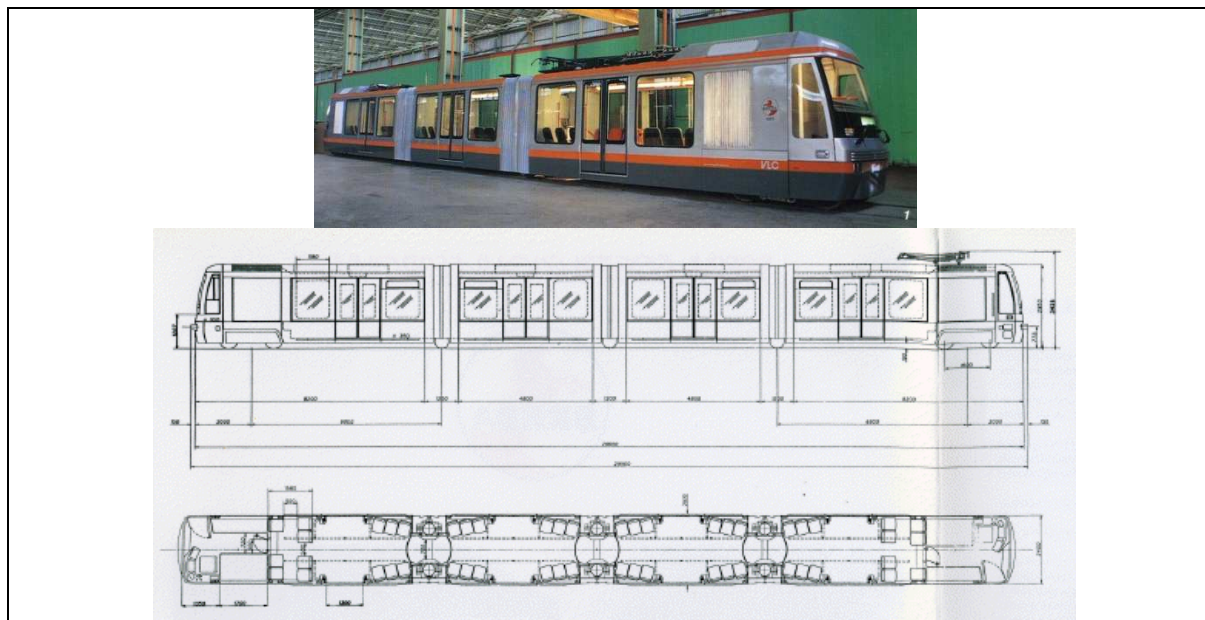
5.11.2 Nízkopodlažní vozidlo VLC Breda s jednonápravovými podvozky

V 90-tých letech Italský výrobce **Breda** vyrobil kloubové „100% nízkopodlažní“ tramvaje **VLC**, pro město Lille. Krajiní podvozky (tj. první a poslední) jsou dvounápravové avšak s poměrně vysokou konstrukční výškou. To zde „není“ na závadu s ohledem na to, že v prostoru nad těmito podvozky je jen stanoviště řidiče a skříň s trakční výzbrojí. Ostatní podvozky pod klouby (tedy v podstatě Jakobsovy podvozky) jsou jednonápravové avšak pouze běžné (tj. bez pohonu).

Z hlediska zaměření tohoto textu je proto toto vozidlo uvedeno jen jako extrémní případ, kdy realizace „100% nízkopodlažního“ vozidla má za následek výrazný pokles užitné plochy pro cestující. Pokud by vozidlo bylo realizováno jako vysokopodlažní nebo jako vozidlo částečně nízkopodlažní (například s vyvýšenou podlahou nad hnacími podvozky), pak by byla užitná plocha pro cestující (a kapacita vozidla) větší. Zřejmě by dnes bylo možno dosáhnout i stavu, že plocha a kapacita i jen nízkopodlažní části by byla stejná a navíc by byla k dispozici plocha vyvýšené podlahy nad pohonem (objektivně by šlo o výhodu, avšak vozidlo by již nebylo 100% nízkopodlažní). Z tohoto extrémního příkladu by bylo vhodné nahlížet i na

⁹³ Vhodným nastavením pružin, resp. umístěním nosných částí (otočný čep, kolébka atd.) blíže k velkým kolům (využití efektu nestejně dlouhé páky).

ostatní příklady vozidel – tj. zdali snahou o velký poměr nízké podlahy nedojde ke zhoršení jiného parametru (například kapacita vozidla vztažená na celé vozidlo, nebo na jednotku délky vozidla, nebo na jednotku hmotnosti, nebo na stejnou cenu vozidla atd.).



Obr.5.9 Nízkopodlažní tramvaj **VLC Breda**. Převzato z [E169].

5.11.3 *Nerealizovaný projekt vozidla URBOS*

Společnost **Vevey** připravovala projekt článkového vozidla s jednonápravovými „podvozky“ vzdáleně připomínající konstrukci španělských železničních vozidel Talgo (tj. první článek má 2 jednonápravové „podvozky“ a na něm je zavěšen následující článek s jediným „podvozkem v zadní části“). Vozidlo nebylo realizováno. Pojmenování „**URBOS**“ dnes používá Španělský výrobce **CAF** pro článkové nízkopodlažní tramvaje (s dvounápravovými podvozky) – tj. pro vozidla zcela jiné koncepce.

Závěr

V předložené zprávě byla řešena problematika koncepce podvozků moderních nízkopodlažních tramvajových vozidel z hlediska realizace trakčního pohonu.

Ve zprávě byly formulovány základní požadavky, připomenuty aspekty související s mechanickou konstrukcí vozidla a s jeho chování v provozu, dále kategorizovány možnosti řešení a především zde byly uvedeny příklady konkrétních realizací od světových výrobců.

Zpráva tak má být úvodním přehledem k této problematice umožňující jednak orientaci v této problematice a dále návod pro kvalitativní porovnání základních variant.

Tím lze navázat v dalších zprávách kvantitativním porovnáním zvolených jednotlivých konkrétních variant - a to především z hlediska konstrukčních rozměrů podvozků, dosažitelných parametrů odpovídajícího elektrického stroje, použitelnosti pro příslušnou aplikaci (tj. například pro vozidla různých rozchodů kol) a případně pro simulaci chování chodových vlastností podvozku a celého vozidla. Cílem by tak mohla být nejen detailní analýza současného stavu v této oblasti, ale případně i poskytnutí inspirace při návrhu nových variant použitelných nově vyvíjená nízkopodlažní tramvajová vozidla.

Literatura tištěná

- [1] Danzer J.: Elektrická trakce 1.přehled problematiky , skripta ZČU, Plzeň 2009
- [2] Heller P., Dostál J. : Kolejová vozidla III., skripta ZČU, Plzeň 2011
- [3] Tramvajová vozidla – Technické požadavky a zkoušky **ČSN 281300** červen 1998

Literatura v elektronické podobě

[E1]	http://archive.org/stream/brillmagazine61912phil#page/72/mode/2up A Novelty in Car Construction, The "Stepless" type of the New York Railways Company". Brill Magazine (J. G. Brill Company) VI (3): 73–84. 1912. Retrieved 2012-08-17.
[E2]	http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/tcrp/tcrp_rpt_02.pdf TCRP Report 2 : Applicability of Low-Floor Light Rail Vehicles in North America
[E3]	http://www.proaktiva.ch/tram/zurich/newslog/2011.html
[E4]	http://photo.tramscape.com/scans/20110531_Vevey_Urbos_brochure_trilingual_p2_of_4.gif
[E5]	http://tram.cx/tram/download/heiterblick/LeoLiner_english.pdf HeiterBlick For Quality of Ride LeoLiner
[E6]	http://www.skf.com/binary/12-62732/RTB-1-02-Bogie-designs.pdf
[E7]	http://www.unife.org/uploads/2008/presentations%20innotrans/rs/05_Stadler.pdf
[E8]	http://www.stadlerail.com/de/fahrzeuge/tango/
[E9]	http://www.stadlerail.com/media/uploads/TTPG0811en.pdf
[E10]	http://www.ferro-lyon.net/nouveau-tram/Rhonexpress/103-030Rames-Tango-de-Stadler
[E11]	http://cs.wikipedia.org/wiki/Krasin_(tramvaj)
[E12]	http://cs.wikipedia.org/wiki/RT6N1
[E13]	http://www.skd.cz/EN/astra/index.htm
[E14]	http://www.railpage.com.au/f-t11343804.htm
[E15]	http://skoda.cz/cs/produkty/tramvaje/
[E16]	http://photo.proaktiva.eu/searchresult.php?key=bogie%20tram
[E17]	http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/bogies.html
[E18]	http://www.flickr.com/photos/blackpooltrams/6926078803/
[E19]	http://www.koncar-mk.hr/products_and_services/transport/bogies_for_trams_and_EMU
[E20]	http://www.vossloh-espana.com/en/products/train_tram/train_tram.html
[E21]	http://www.robotran.be/appli/appli-industry/293-articulated-tramway-bogie-with-independent-wheels
[E22]	http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bogie_T1_TFS.jpg
[E23]	http://www.ferro-lyon.net/nouveau-tram/498-Les-Rames-Citadis-402
[E24]	http://hampage.hu/trams/brusszel/e_index.html
[E25]	http://my.opera.com/kotkalainen/albums/slideshow/?album=264383 variotram
[E26]	http://www.pets.org.au/pets07_63.html
[E27]	http://www.hubner-germany.com/index.php?id=5096&use_get_query=1&suffix=print&site=huebner_internet&lang=en
[E28]	http://www.flexity2.bombardier.com/flexity-2/leading-edge-technology/smooth-ride/
[E29]	http://sci-lib.org/books_1/1/iwnicki_01_03.pdf The Anatomy of Railway Vehicle Running Gear
[E30]	http://www.prazsketravaje.cz/view.php?cislocanku=2006040804
[E31]	http://www.pragoimex.cz/i/File/EVO_prospekt_cz.pdf
[E32]	http://www.railfaneurope.net/pix/fi/trams/Helsinki/Variotram/pix.html
[E33]	http://www.railway-technology.com/projects/milano/milano5.html
[E34]	http://www.sdp-cr.cz/WD_FileDownload.ashx?wd_systemtypeid=34&wd_pk=WzEzMMDsWzMwXV0%3D VZTAH KOLO-KOLEJNICE v podmínkách tramvajového provozu
[E35]	http://www.railvolution.net/railvolution/archive/2008/5
[E36]	http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0048_VIVEM263EN/ch06s02.html
[E37]	http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/SiteCollectionDocuments/en/rail-solutions/components-and-systems/bogies-catalog-en.pdf
[E38]	http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brno_140_let_MHD_(84)_vozovna_Pis%C3%A1rky_Vario_LF2-podvozek.jpg
[E39]	http://www.kos.cz/tramvaj-vario-lf1.php?gallery_id=102
[E40]	http://www.stadlerail.com/media/uploads/factsheets/FLIRT_Junakalusto_Oy_e.pdf
[E41]	http://www.bombardier.com/content/dam/Websites/bombardiercom/supporting-documents/BT/Bombardier-Transportation-Bogies-FLEXX-Urban.pdf
[E42]	http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/bogies/light-rail-vehicles.html
[E43]	http://imhd.zoznam.sk/ba/galeria-media/update/6225/Vyhľadavanie.html?#86604-Bocny-pohľad-na-Bombardier-Flexity-Outlook
[E44]	http://www.voith.com/en/press/press-releases-99_46852.html
[E45]	http://www.hel.fi/hel2/hkl/uusi_raitiavaunu/en/
[E46]	http://paulbigland.zenfolio.com/p204649795/he57007f#he57007f

[E47]	http://www.schaeffler.kr/content.schaeffler.kr/en/branches/industry/rail_vehicles/applications_4/motive_power_u nits/streetcars/combino_low-level_articulated_railcar/Combino_low-level_articulated_railcar.jsp
[E48]	http://tdu.to/31675.msg combino
[E49]	http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tylny_w%C3%B3zek_nap%C4%99dowy_Swinga_Cluj.JPG
[E50]	http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Combino_tram_chassis_2.jpg
[E51]	http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Combino_tram_chassis.jpg
[E52]	http://en.wikipedia.org/wiki/Low-floor_tram
[E53]	http://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e431/e431028.pdf
[E54]	http://saboteur-2.livejournal.com/275515.html
[E55]	http://transphoto.ru/photo/522473/
[E56]	http://metro-nn.ucoz.ru/news/2012-11-13-100
[E57]	http://sdelanounas.ru/blogs/8418/
[E58]	http://ru.wikipedia.org/wiki/71-631
[E59]	http://www.uraltransmash.com/index.php/raskrytie-informatsii/inye-dokumenty
[E60]	http://ru.wikipedia.org/wiki/71-623
[E61]	http://600volt.ru/text/read/1684
[E62]	http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B2%D0%B0%D0%B9#.D0.A1.D0.BE.D0. B2.D1.80.D0.B5.D0.BC.D0.B5.D0.BD.D0.BD.D1.8B.D0.B5_.D0.BF.D1.80.D0.BE.D0.B5.D0.BA.D1.82.D1.8B
[E63]	http://www.uraltransmash.com/index.php/produktsiya/tramvayne-vagony/tramvajnyj-vagon-71-409
[E64]	http://www.ukvz.ru/catalogue/view.php?id=1&flag=0
[E65]	http://transphoto.ru/vehicle/216819/
[E66]	http://www.ukvz.ru/catalogue/view.php?id=81&ggid=1&flag=0
[E67]	http://fotki.yandex.ru/users/tramway-chelny/view/917446/?page=0#preview tj.71-623
[E68]	http://transphoto.ru/photo/415218/
[E69]	http://archiv.dopravni.net/view.php?cislocianku=2008041805
[E70]	http://www.railwaypro.com/wp/?p=9582
[E71]	http://www.transtec-vetschau.de/en/unternehmen.php
[E72]	http://www.google.com/patents/US6601520
[E73]	http://www.google.com/patents/US20020195018
[E74]	http://www.google.com/patents/US20100083866
[E75]	http://hampage.hu/trams/brusszel/e_index.html
[E76]	http://www.robotran.be/appli/appli-industry/293-articulated-tramway-bogie-with-independent-wheels
[E77]	http://www.ghh-valdunes.com/en/Tramway-Low-Floor.7d1f1.php
[E78]	http://www.koncar-kev.hr/docs/koncarkevEN/documents/17/2_1/Original.pdf
[E79]	http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cislocianku=2007040801
[E80]	http://www.plzensketramvaje.cz/?page=linky.htm
[E81]	http://www.transportszynowy.pl/15twnetrze.php
[E82]	http://www.kos.cz/tramvaj-vario-lf3.php?gallery_id=104
[E83]	http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cislocianku=2007040801
[E84]	http://en.wikipedia.org/wiki/ADtranz_low_floor_tram
[E85]	http://greg-vassilakos.com/trainwag/trainwag.htm
[E86]	http://technet.idnes.cz/tramvaj-s-nejnizsi-podlahou-na-svete-jezdi-po-kolejich-jako-stonozka-1i9- /tec_reportaze.aspx?c=A090713_171029_tec_reportaze_rja
[E87]	http://technet.idnes.cz/foto.aspx?r=tec_reportaze&c=A090713_171029_tec_reportaze_rja&foto=&thumbs=1#RJA2bc 366_IMG_5241.JPG
[E88]	http://www.phototrans.eu/14%2C361863%2C0%2CSolaris_Tramino_.html
[E89]	http://search.babylon.com/?q=nizkopodlazni+tramvaj&affID=112542&tt=010712_5&babsr=SP_ss&mntrId=289f49 3a0000000000000001d60405d3a
[E90]	http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0koda_05T
[E91]	http://www.bmhd.cz/rt6/rt6.php
[E92]	http://static.bmhd.cz/data/bmhd-archiv/prospekty/docs/RT6S-CZ_EN.pdf
[E93]	http://www.alstom.com/Global/US/Resources/Documents/Brochure_Citadis%20Spirit.pdf
[E94]	http://www.alstom.com/Global/Transport/Resources/Documents/Brochure%20-%20Rolling%20Stock%20- %20Citadis%20Dualis%20-%20Configurations%20and%20options%20-%20English%20.pdf
[E95]	http://en.wikipedia.org/wiki/Ultra_Low_Floor
[E96]	http://www.bahnindustrie.at/upload/dokumente/175/Strassenbahnsystem_ULF_Wien.pdf
[E97]	http://paulbigland.zenfolio.com/p204649795/h86DC360#h3e1e608d
[E98]	http://fr.wikipedia.org/wiki/Tram_2000
[E99]	http://www.conferinte.clubferoviar.ro/mass_transport/wp-content/uploads/2012/prezentari/diaconescu.pdf
[E100]	http://en.wikipedia.org/wiki/Alstom_Citadis
[E101]	http://imhd.zoznam.sk/ke/galeria/186/index.html#27 Tatra - ČKD KT8D5 Podvozky-525.jpg
[E102]	http://vagens.tramvaj.ru/models.php
[E103]	http://www.bmhd.cz/evidence-dpmb/prehled.php?tramvaje30
[E104]	http://static.bmhd.cz/data/bmhd-archiv/prospekty/docs/KT4Dt-DE.pdf
[E105]	http://static.bmhd.cz/data/bmhd-archiv/prospekty/docs/T6B5.pdf
[E106]	http://www.bmhd.cz/rt6/rt6.php
[E107]	http://www.springerimages.com/Images/RSS/1-10.1007_978-3-540-30738-9_13-141
[E108]	http://www.simplonpc.co.uk/T_Zurich.html#Mirage
[E109]	http://en.wikipedia.org/wiki/Flexity_Outlook

[E111]	http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BC%D0%B0%D1%88
[E112]	http://metroblog.ru/post/3719/
[E113]	http://en.wikipedia.org/wiki/Citytram
[E114]	http://fr.wikipedia.org/wiki/Tram_4000
[E115]	http://www.forcitytram.cz/
[E116]	http://en.wikipedia.org/wiki/Low-floor_tram
[E117]	http://www.stadlerrail.com/en/vehicles/variobahn/
[E118]	http://en.wikipedia.org/wiki/Variotram
[E119]	http://www.stadlerrail.com/media/uploads/factsheets/STA_1039_019_Vario_Graz_e_rz.pdf
[E120]	http://www.kaupunkiliikenne.net/combino.html
[E121]	http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-vehicles/light-rail-vehicles.html?docID=0901260d8000a536
[E122]	http://en.wikipedia.org/wiki/Flexity_Swift
[E123]	http://www.trampicturebook.de/tram/astolfi/karlsruhe/data-gt670dn.php
[E124]	http://ymtram.mashke.org/italy/naples/photos/napl12361s.jpg
[E125]	http://archive.org/stream/brillmagazine61912phil#page/90/mode/2up
[E126]	http://www.ferro-lyon.net/nouveau-tram/88-040Les-Rames-Citadis-TGA-302
[E127]	http://www.bombardier.com/en/transportation/projects/project.cobra-zurich-switzerland.html?f-region=europe
[E128]	http://www.proaktiva.ch/tram/zurich/zurich05_1.html#modernisation
[E129]	http://www.railway-technology.com/projects/milano/
[E130]	http://img822.imageshack.us/img822/3264/p132042310563113.jpg
[E131]	http://technet.idnes.cz/foto.aspx?r=tec_reportaze&c=A090713_171029_tec_reportaze_rja
[E132]	http://technet.idnes.cz/vyroba-tramvaje-pro-prahu-trva-pul-roku-v-kazde-jsou-kilometry-kabelu-1ei-/tec_reportaze.aspx?c=A110714_184458_tec_reportaze_rja
[E133]	http://www.bogieoperatorforum.com/fileadmin/Downloads_Member/BT_Datasheets/S_S1100_Incentro_04-02_EN_web.pdf
[E134]	http://www.vag.de/Tramway/id50/Tramway-Railcar-GT6N.html
[E135]	http://www.google.com/patents/EP0464929A2
[E136]	http://modeleng.proboards.com/thread/4521/chilled-iron-tram-wheels
[E137]	http://www.sauterbachmann.ch/index.php?id=36&L=1
[E138]	http://www.railway-technology.com/projects/potsdam/
[E139]	http://www.voith.pl/index.php?id_strony=179&id=132&idmain=34
[E140]	http://technet.idnes.cz/foto.aspx?r=tec_reportaze&c=A110714_184458_tec_reportaze_rja
[E141]	http://www.ferro-lyon.net/nouveau-tram/Rhonexpress/103-030Rames-Tango-de-Adler
[E142]	http://www.eisenbahnforum.de/index.php?s=00e2609e8a35159f1e3c5645bd7cdac&act=ST&f=40&t=11715
[E143]	https://vet.bme.hu/sites/default/files/tamop/vivem263en/out/html/vivem263en.html
[E144]	http://www.sdp-cr.cz/WD_FileDownload.ashx?wd_systemtypeid=34&wd_pk=WzcyMyxbMzBdXQ%3D%3D..ULF_cs_090608
[E145]	http://modeleng.proboards.com/thread/4521/chilled-iron-tram-wheels
[E146]	http://uk.transpng.com/t107-bombardier-incentro
[E147]	http://photo.proaktiva.eu/tram/basel/tango_blt_02_09_2008_a.jpg
[E148]	http://www.translille.com/tramway_general.php
[E149]	http://en.wikipedia.org/wiki/Low-floor_tram
[E140]	http://www.proaktiva.ch/tram/zurich/newslog/2011.html
[E141]	http://tramvaje.ic.cz/rakousko.htm
[E142]	http://public-transport.net/bim/Ulf.htm
[E143]	http://www.ferro-lyon.net/nouveau-tram/Rhonexpress/103-030Rames-Tango-de-Adler
[E144]	http://www.stadlerrail.com/de/fahrzeuge/tango/
[E145]	http://unitedstreetcar.com/products/united-streetcar-100/
[E146]	http://www.inekon.cz/cz/skupina/inekon-trams/produkty-a-sluzby/dodavky-novych-tramvaji/
[E147]	http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0048_VIVEM263EN/ch03s02.html
[E148]	http://img822.imageshack.us/img822/3264/p132042310563113.jpg
[E149]	http://www.tramgeschichten.de/2011/04/01/variobahn-erhalt-zulassung-durch-das-eba/
[E150]	http://photo.proaktiva.eu/?pict=tram/freiburg/tech/com_bo_wo_tyres
[E151]	http://tdu.to/47449.msg
[E152]	http://tramwaynice.free.fr/Caracteristiques_techniques/Caracteristiques_Citadis_302_Alstom.htm
[E153]	http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=441659&page=90
[E154]	http://www.sauterbachmann.ch/index.php?id=36&L=1
[E155]	http://www.k-report.net/ukazobrazek.php?soubor=511630.jpg&httpref=/
[E156]	http://www.trampicturebook.de/tram/astolfi/bremen/data-gt6.php
[E157]	http://www.dpb.sk/templates/_docs_zverejnovanie/zmluva/Zmluva_obojsmerne_elektricky-5726.pdf
[E158]	http://www.k-report.net/ukazobrazek.php?soubor=511753.jpg&httpref=/resp.odkaz
[E159]	http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Combino_tram_chassis.jpg&filetimestamp=20060528201145
[E160]	http://www.phototrans.eu/14%2C361863%2C0%2CSolaris_Tramino_.html
[E161]	http://www.alstom.com/Global/Transport/Resources/Documents/Brochure%20-%20Rolling%20Stock%20-%20Citadis%20Tramways%20-%20English%20.pdf
[E162]	http://www.railwaygazette.com/news/urban/single-view/view/solaris-tramino-presented-to-jena.html
[E163]	http://www.spvd.cz/index.php/template1/tramvaje/astra-pro-portland-v-plzni
[E164]	http://www.kos.cz/podvozky-komfort.php?lang=CZ

[E165]	http://www.pragoimex.cz/i/File/varioLF2Plus-EN.pdf	
[E166]	http://de.wikipedia.org/wiki/GT×N/M/S	
[E167]	http://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cislocianku=2006082001	
[E168]	http://cs.wikipedia.org/wiki/15T	
[E169]	http://www.translille.com/tramway_general.php	
[E170]	http://www.kaupunkiliikenne.net/varioBahn.html	
[E171]	http://evolution.skf.com/wp-content/uploads/2001/05/New-drive-5.png	
[E172]	http://www.flickr.com/photos/fototak/8484440236/	
[E173]	http://www.trampicturebook.de/tram/download/stadler/Datenblatt_Vario_Bogestra.pdf	
[E174]	http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37264.pdf	
[E175]	http://www.sparvaglund.se/PageFiles/364/Tram-Concept-for-Sk%C3%A5ne_2012-11-091.pdf	
[E176]	http://imhd.zoznam.sk/ba/doc/sk/8565/Nazory-Viliam-Sestina-Rozhod-kolaji-elektrickovej-drahy-v-Bratislave-od-minulosti-po-sucasnost.html	
[E177]	http://www.gruene-hannover.de/uploads/abschlussbericht_stadtbahn_hannover_2010_03_04.pdf	
[E178]	http://www.trampicturebook.de/tram/germany/bremen/gt8n.php	
[E179]	http://www.strassenbahnen-online.de/tatra/kt4	
[E180]	http://www.traktionssysteme.at/referenzen/strassenbahnen/	
[E181]	http://www.g-st.ch/trambasel/spezial/tango_blt.html	
[E182]	http://davidbeilby.zenfolio.com/p955420759	
[E183]	http://www.traktionssysteme.at/en/references/strassenbahnen/	
[E184]	http://voith.com/en/products-services/power-transmission/gear-units/gear-units-light-rail-and-trams-15125.html	
[E185]	http://resource.voith.com/vt/publications/downloads/1837_e_g_2219_e_hkl_emcon_2013-08_screen.pdf	
[E186]	http://skoda.cz/cs/produkty/tramvaje/tramvaj-26-t/Contents.3/0/428BF75BEBA59D9C1B51B33596673DC7/resource.pdf	
[E187]	http://en.wikipedia.org/wiki/Cobra_(tram)	
[E188]	http://www.tram2000.be/	
[E189]	http://www.stadlerrail.com/media/uploads/TTPG0811en.pdf	
[E190]	http://www.trampower.co.uk/city_class.html	
[E191]	http://www.railway-technology.com/contractors/bogies/promec	
[E192]	http://www.bathtram.org/tfb/tV22.htm	
[E193]	http://pl.wikipedia.org/wiki/Lista_tramwaj%C3%B3w_produkowanych_w_Polsce	
[E194]	http://en.wikipedia.org/wiki/Low-floor_tram	
[E195]	http://en.wikipedia.org/wiki/PTMZ	
[E196]	http://railtrans.com.ua/index.php?a=search&all	
[E197]	http://railtrans.com.ua/index.php?a=models&type=1	
[E198]	http://www.lineoz.net/forum/viewtopic.php?f=1&t=13676&start=75	
[E199]	http://www.ferro-lyon.net/nouveau-tram/88-040Les-Rames-Citadis-TGA-302	

Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum Jméno / Odd.